

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GERİ DÖNÜŞÜM İŞLEMİNİN TEKSTİL ATIĞI TAKVİYELİ POLİMER
MATRİSLİ KARMA MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Safa BODUR**

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Malzeme ve İmalat

Tez Danışmanı: Yrd. Doç.Dr. Mustafa BAKKAL

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GERİ DÖNÜŞÜM İŞLEMİNİN TEKSTİL ATIĞI TAKVİYELİ POLİMER
MATRİSLİ KARMA MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Safa BODUR
(503071324)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Aralık 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 28 Ocak 2010

Tez Danışmanı: Yrd. Doç.Dr. Mustafa BAKKAL (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Şafak YILMAZ (İTÜ)

Doç.Dr. Ömer Berk BERKALP

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Tez çalışmamım, planlanmasından sonuçlanmasına kadar ki tüm sürecinde değerli bilgilerini ve desteğini benden esirgemeyen danışmanım ve değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Mustafa BAKKAL'a; değerli hocam Doç.Dr. Ömer Berk BERKALP'e; çalışma arkadaşlarım Serhan GERİKALMAZ ve Nebahat ARAL'a; tez yazım sürecinde değerli bilgilerini ve zamanını benimle paylaşan Oğuzhan GÜNGÖR'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her zaman manevi desteklerini ve güvenlerini hissettirerek bana güç veren babam Cengiz BODUR'a ve annem H.Perihan BODUR'a; sevgili ablalarım Merve VAKKASOĞLU'na ve Tuba MUTÇALI'ya; ve biricik kardeşim Büşra BODUR'a sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yanımda olan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Aralık 2009

Mehmet Safa BODUR

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. KONU	1
1.1 Literatür Özeti	3
2. KARMA MALZEMELER	11
2.1 Karma Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	14
2.2 Karma Malzemelerin Sınıflandırılması.....	16
2.2.1 Biçimlerine göre karma malzemeler	16
2.2.1.1 Elyaf takviyeli karma malzemeler.....	16
2.2.2 Matris malzemesine göre karma malzemeler	16
2.2.2.1 Termoplastik matrisli karma malzemeler.....	17
2.3 Polimer matrisli karma malzemelerin imalat yöntemleri.....	20
2.3.1 Ekstrüzyon yöntemi	20
3. GERİ DÖNÜŞÜM İŞLEMİNİN TERMOPLASTİK MALZEMELER ÜZERİNE ETKİSİ	25
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	27
4.1 Atık Kumaş ile Takviyelendirilen Termoplastik Malzemelerin Ekstrüzyonu	27
4.1.1 İmalat değişkenleri	33
4.1.1.1 Kalınlık kontrolü	33
4.1.1.2 Takviye yönlenmesi ve oranı	35
4.2 Geri Dönüşüm İşlemi	35
5. SONUÇLAR	41
5.1 Çekme Deneyi Sonuçları	41
5.2 Darbe Deneyi Sonuçları	45
5.3 Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	48
5.4 Mekanik özelliklerin yöne bağlı olarak değişimi.....	50
5.5 MFI analizi.....	52
5.6 Sem Görüntüleri.....	53
5.7 DSC Analizi	55
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61

KISALTMALAR

DYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
MFI	: Melt Flow Index
DSC	: Differential Scanning Calorimetry
SEM	: Scanning Electron Microscope
RTM	: Resin Transfer Molding

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Geri Dönüşümle artış gösteren kristallik derecesi.....	6
Çizelge 1.2 : Lif uzunluğunun mekanik özelliklere etkisi.....	7
Çizelge 2.1 : Bazı polimerlerin genel özellikleri	18
Çizelge 2.2 : Polimer matrisli karma malzeme imalat yöntemi seçim kriterleri	20
Çizelge 4.1 : Karma malzeme üretimi için kullanılan ekstruderin teknik özellikleri.....	28
Çizelge 4.2 : Düşük yoğunluklu G-03 polietilenin özellikleri	29
Çizelge 4.3 : Takviye malzemelerinin özellikleri.....	30
Çizelge 4.4 : İmalat değişkenleri	30
Çizelge 5.1 : Geri dönüşüm basamağına göre karma malzeme ve saf DYPE çekme dayanımı (σ_c) - elastiklik modülü (E) değerleri.....	42
Çizelge 5.2 : Geri dönüşüm basamağına göre darbe dayanım değerleri	47
Çizelge 5.3 : Karma malzemelerin geri dönüşüm basamağına göre sertlik değerleri.....	48
Çizelge 5.4 : Karma malzemelerin 3. Kırım sonrası çekme dayanım değerleri	51
Çizelge 5.5 : MFI ölçüm değerleri.....	53
Çizelge 5.6 : DSC değerleri	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: MFR değerlerindeki artış.	5
Şekil 1.2	: Kopma dayanımının geri dönüşüm basamağına göre değişimi.	6
Şekil 1.3	: Elastiklik modülünün geri dönüşüm işlemine göre değişimi.	7
Şekil 1.4	: Mekanik dövme işlemine uğramış lif yüzeyinin SEM görüntüleri.	8
Şekil 1.5	: Çeşitli doğal takviye oranına göre çekme dayanım değerleri.	10
Şekil 2.1	: Reçine ve takviyeden oluşan karma yapı	12
Şekil 2.2	: Çeşitli karma yapılar	13
Şekil 2.3	: Karma malzemelerde kullanılan çeşitli formlardaki bileşenler.....	13
Şekil 2.4	: Sürekli ve parçalı lif takviyeli karma malzemeler.....	14
Şekil 2.5	: Termoplastiklerin molekül yapısı a)Amorf yapı b)Yarı Kristalin yapı..	17
Şekil 2.6	: Tek vidalı bir ekstruderin şematik gösterimi.....	21
Şekil 2.7	: Farklı tasarımlara sahip ekstruder vidaları	22
Şekil 2.8	: Tek vidalı ekstruderde erime mekanizması.....	23
Şekil 4.1	: Çalışmada kullanılan ekstrüzyon hattı.	27
Şekil 4.2	: Vida – Kovan sistemi	28
Şekil 4.3	: Karma malzeme üretiminde kullanılan matris ve takviye elemanı	29
Şekil 4.4	: Ekstruder kontrol paneli.	30
Şekil 4.5	: Ekstruder haznesinden malzemelerin beslenmesi	31
Şekil 4.6	: Ekstruder levha kalıbından malzeme çıkışı.....	32
Şekil 4.7	: Malzemenin merdaneler arasından geçişi.	32
Şekil 4.8	: Şekillendirilmek üzere pres altına yerleştirilen plaka.	32
Şekil 4.9	: Geri dönüşüm sayılarına bağlı olarak imalatsonrasında elde edilen plakalar.	33
Şekil 4.10	: Ekstruder levha kalıbı ve merdanenin yandan görünüşü.....	34
Şekil 4.11	: Merdane hızının etkisi.	35
Şekil 4.12	: Kırma işlemi.	36
Şekil 4.13	: Takviyeli plastik granülleri	36
Şekil 4.14	: Birinci aşamada üretilen plaka (kırılmamış)	37

Şekil 4.15 : Kırma işlemleri sonrası elde edilen karma malzeme granülleri.	38
Şekil 4.16 : İmalat ve geri dönüşüm basamakları.	39
Şekil 5.1 : Çekme deneyi test numunesi ve boyutları.	41
Şekil 5.2 : Çekme numunesi.	41
Şekil 5.3 : Çekme dayanımının geri dönüşüm (kırım) basamağına göre değişimi. .	43
Şekil 5.4 : Elastiklik modülünün geri dönüşüm basamağına göre değişimi.	44
Şekil 5.5 : %15TG03 karma malzemenin σ - ε eğrileri.	45
Şekil 5.6 : Darbe Deney Numunesi.	46
Şekil 5.7 : Geri dönüşüm basamağına göre darbe dayanımı değişimi.	46
Şekil 5.8 : Shore D sertlik ölçme aleti.	48
Şekil 5.9 : Geri dönüşüm basamağına göre sertlik değerleri değişimi.	49
Şekil 5.10 : Ekstrüzyon doğrultuları	50
Şekil 5.11 : Polimer zincirlerinin yönlenmesi	51
Şekil 5.12 : Çekme dayanımının yöne bağlı olarak değişimi	51
Şekil 5.13 : Thermo Haake marka MFI ölçüm aleti	52
Şekil 5.14 : Karma malzemelerin yan yüzey görüntüleri	53
Şekil 5.15 : Karma malzemelerin kesit yüzey görüntüleri.	54
Şekil 5.16 : Plastik – Lif tutunma durumu.	55
Şekil 5.17 : DSC eğrileri.	56

GERİ DÖNÜŞÜM İŞLEMİNİN ATIK KUMAŞ TAKVİYELİ POLİMER MATRİSLİKARMA MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Son zamanlarda çevresel duyarlılığın artışıyla beraber doğal malzemelerin farklı uygulamalar için kullanılması üzerine yapılan çalışmalara ilgi artmıştır. Sanayide kullanılan mevcut inorganik takviyeli polimer matrisli karma malzemeler yerine doğal takviyeli, doğada daha rahat çözünebilen ve doğaya zararı olmayan dolgularla desteklenmiş karma malzemelerin kullanılması hususunda da katı çevresel politikalar sanayicileri zorlamaktadır. Bu bakımdan artıkların çevrede yok edilmesinin zorluğundan ve kaynakların sınırlı olmasından dolayı malzemelerin geri dönüşümü kaçınılmaz bir çözüm olarak görülmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada doğal takviye olarak sanayiden toplanmış atık pamuklu kumaş kullanılmıştır. Böylelikle hem atık kumaşların ekonomiye tekrardan kazandırılması hem de polimer malzeme kullanımını en aza indirgeyerek doğaya daha az zararı dokunan karma malzeme üretimi ve aynı zamanda elde edilen malzemede polimer kullanımının azalmasıyla toplam maliyeti azaltmak amaçlanmaktadır.

Çalışmada öncelikle, belirlenen atık kumaş takviye oranına sahip polimer matrisli karma malzeme ekstruder yardımıyla üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen malzemenin çekme dayanımı, elastiklik modülü, darbe dayanımı, sertlik gibi mekanik özellikleri elde edilmiştir. Daha sonraki aşamada ekstruderde tekrar imalat için kullanılacak küçüklüğe getirmek amacıyla granülatör de denilen kırıcı yardımıyla istenilen boyutlara küçültülen parçacıklar tekrar karma malzeme üretimine katılmıştır. En sonunda elde edilen malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu işlemler elde edilen sonuçlara göre 6 defa tekrar edilmiştir.

THE EFFECT OF REPROCESSING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF WASTE FABRIC REINFORCED POLYMER MATRIX COMPOSITES

SUMMARY

In the recent decades, growing environmental awareness has been resulted in renewed interest in the use of natural materials for different applications. Some stringent policies have forced industries to use more biodegradable, less harmful natural fibers as the reinforcement material instead of traditional inorganic reinforcements to manufacture composite material. In this regard, it seems an unavoidable solution to recycle plastics because of limited recourses and the difficulty of disposing plastic wastes.

In this work, waste cotton fabrics have been used as the reinforcing material to develop a new polymer matrix composite. The main advantages of using waste cotton fabric in the composite are:

- Recycling of waste fabrics
- Producing more environmentally friendly material by reducing the use of polymer
- Decreasing the total cost for production

First of all, waste cotton fabric reinforced polymer matrix composite material has been manufactured by using extruder machine. Then the material were tested for its mechanical properties such as tensile strength, young's modulus, impact strength etc. for the next step the material was granulated down to the size enough to use in extrusion process. Polymer composite granules have been used again to produce composite material and mechanical properties of the reproduced composite were tested again. This process was repeated for six times according to the results of mechanical tests.

1. KONU

Son yıllarda çevresel duyarlılığın artışıyla birlikte doğaya daha az zararı dokunan, biyolojik olarak daha kolay çözünebilen ve geri dönüşümü çok daha rahat olan organik takviyeli plastik matrisli karma malzemelerin endüstride kullanımı artmaktadır.

Yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde, doğal karma malzeme takviyesi olarak mısır nişastası, atık halı, saman, keten, ambalaj kâğıdı, kenevir, sisal, gazete kâğıdı ceviz kabuğu, fındikkabuğu, odun lifi gibi malzemeler plastik kullanımını en aza indirgeyebilmek amacıyla karma malzeme içerisinde değerlendirilmektedir. Doğal atıkların bu şekilde değerlendirilmesi hem ekonomik açıdan, hem de çevresel açıdan faydalı olacaktır. Bu bakımdan Türk sanayisinde önemli bir yeri olan tekstil endüstrisinde imalat sonrasında ortaya çıkan tekstil artıklarının değerlendirilmesi de Türk ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Karma malzeme yapımında termoplastiklerin kullanılmasının en önemli avantajlarından biri geri dönüşümünün yapılabilmesidir. Dünya çapında her yıl yaklaşık 100 milyon ton plastik hammadde kullanıldığı düşünülürse geri dönüşüm işleminin ne kadar gerekli olduğu ortaya çıkacaktır. Geri dönüşüm işlemiyle beraber doğada ancak çok uzun yıllar sonunda kendiliğinden yok olan artık plastik miktarı azalacaktır ve aynı zamanda ekonomik olarak kazanç sağlanacaktır.

Plastiklerin geri dönüşümü işleminde en etkili yöntem, termo – mekanik geri dönüşüm işlemi olarak gözükmektedir. Bu işlemde plastik artıklar, granülatör ya da kırıcı adı verilen makine yardımıyla tekrar ekstrüzyon işleminde kullanılacak parçacıklar haline getirilmektedir. Böylelikle geri dönüşümü sağlanmış olan plastik artıklar tekrar mamul imalatında kullanılabilir.

Gerçekleştirilen çalışmada geri dönüşüm işlemiyle birlikte şu 3 ana hedef amaçlanmıştır.

- Ekonomik açıdan; karma malzemenin geri dönüşümü sağlayarak tekrar ekonomiye kazandırmak
- Çevresel olarak, karma malzeme yapımında organik takviye kullanarak plastik kullanımını en aza indirgeyebilmek
- Malzeme performansı bakımından, takviye malzemesini yeniden kırıp üretimiyle birlikte daha düzgün dağılım ve dolayısıyla daha iyi mekanik özellik elde etmek, bu sağlanmazsa bile en azından saf plastik malzemeye göre mekanik özelliklerde en az düşüş sağlamak.

Çalışma boyunca gerçekleştirilen imalat basamakları ise şu şekilde sıralabilir;

- Ekstrüderde ana faz olan Polimer malzeme ile dolgu malzemesi olan atık kumaşın harmanlanması

↓

- Eritilip harmanlanan malzemenin merdaneden geçirilerek levha elde edilmesi

↓

- Levhanın kalibrasyon amacıyla preslenmesi

↓

- Masaüstü CNC freze tezgahında standartlara göre çizilen test numunelerinin kesimi

↓

- Testler ve verilerin toparlanması

↓

- Üretilen plakaların kırıcıda tekrar granül haline getirilmesi

↓

- Granül haline getirilen parçaların tekrar işlemek için ekstrüderde eritilmesi

•

•

İmalat işlemleri elde edilen sonuçlara göre tekrarlanmıştır.

Gerçekleştirilen ön çalışmalarda hacimsel olarak %15 pamuklu kumaş takviyeli düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) matrisli karma malzemenin 1.kırma sonrasında elde edilen çekme dayanımı 8,8 MPa iken 2. kırma sonrasında ise takviye malzemesinin daha iyi dağılımı sayesinde çekme dayanımı 9,3 MPa'a kadar artmıştır. Yine aynı şekilde elastiklik modülü 1.kırma sonrasında 382 MPa iken 2. kırma sonrasında 422 MPa'a çıktığı görülmüştür. Böylece kırım sayısının artırılmasının mekanik özelliklere olumlu etkisi görülmüş ve kırım sayısının artırılması çalışmasının sistematik bir şekilde yapılmasına karar verilmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Neaz Ahmed ve Javaid H. Khan 2002 yılındaki çalışmalarında, termoplastik malzemelerin geridönüştürülmesinin malzeme özellikleri üzerindeki etkisi incelemişlerdir. Bu kapsamda hiç işlenmemiş yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve geridönüştürülmüş ve hiç işlenmemiş YYPE den olan karma malzemeyi test etmiş ve karşılaştırmışlardır. Malzemelerin eriyik akış indeksi (MFI) değerlerine, kristallik derecelerine ve çekme özelliklerine bakılan çalışmada geridönüştürme sayısı arttığında malzemelerin MFI değerlerinin, kopma gerilmelerinin ve kopma uzamalarının düştüğü görülmüştür. Bu durumun polimer ana zincirindeki bağların kopması, dolayısıyla moleküler ağırlığın düşmesi sebebiyle olduğu söylenmiştir. Özetle malzeme tekrarlı olarak ekstrude edildiğinde polimer degradasyonu oluşmaktadır [1].

A.G. Pedroso ve D.S. Rosa 2004 yılındaki çalışmalarında hiç işlenmemiş ve geri dönüştürülmüş DYPE ve mısır nişantası harmanının FTIR, MFI, DSC, SEM analizlerini ve çekme deneylerini yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda nişantanın eklenmesi ve harmandaki oranının artmasıyla malzemenin MFI ve çekme dayanımı düşmektedir. Bu durumun nişata ile PE arasındaki zayıf arayüzden olduğu düşünülmektedir. Elastik modül ve uzama değerlerine bakıldığında ise elastik modülde çok belirgin olmamakla beraber geri dönüşümle bir miktar artma ve uzama değerlerinde de azalma görülmektedir. Bu iki durumun sebebinin ise malzemenin tekrar işlenmesi sırasında oluşan radikallerin, zincirlerde çapraz bağlanma veya dallanmaya sebep olması ve dolayısıyla malzemenin sertleşmesine neden olması olduğu söylenmektedir [2].

Bateman ve Wu tarafından 2001 yılında yayınlanan çalışma atık tekstil malzemesinin değerlendirilmesi adına oldukça güzel bir örnektir. Çalışmada atık halılardan yararlanılması amacıyla naylon hammaddeli halı ve düşük yoğunluklu polietilenden oluşan karma malzemeler hazırlanmıştır. Halılar yaklaşık 30 cm² lik parçalara kesilmiş ve ilk önce polietilenle lamine edilmiştir. Daha sonra lamine edilmiş parçalar bir giyotinle doğranmış ve bir kırıcı yardımıyla ekstrüzyona uygun boyutlarda parçacıklar haline getirilmiştir. Ekstrüzyon işleminden sonra enjeksiyon makinesiyle karma malzemeler oluşturulmuş ve çekme deneyleri ASTM 638 standardına uygun olarak yapılmıştır. Elastiklik modülü en yüksek değere %50 halı takviyeli karma malzemede ulaşılırken; çekme dayanımı, uzama ve spesifik çekme enerjisi takviye oranı azaldıkça azalmakta ve en yüksek değerlere saf polietilen ile ulaşılmaktadır [3].

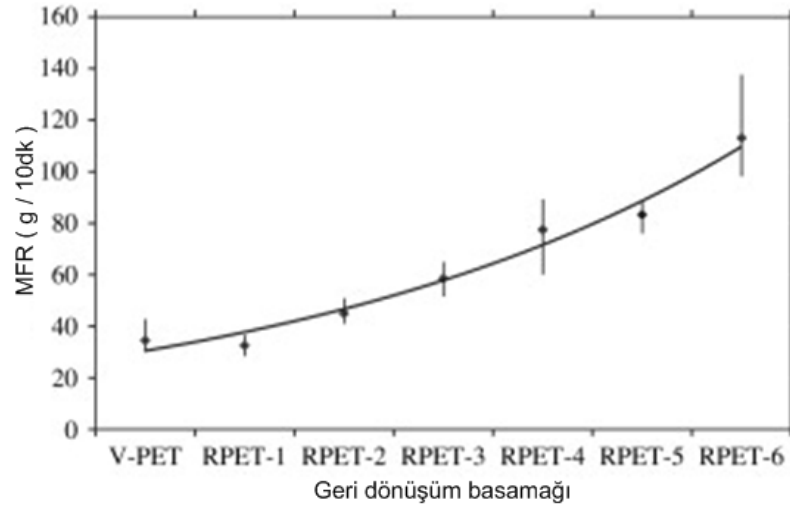
Munir Taşdemir ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yayınlanan çalışmada, odun lifi takviyeli DYPE karma malzemeler oluşturulmuş ve lif-matris arayüzeyinin geliştirilmesi amacıyla maleik anhidrit modifiyesi yapılmıştır. Oluşturulan malzemede odun lifi takviyesiyle elastiklik modülü ve sertlik artmıştır, çekme dayanımı ve kopma uzama değerleri düşmüştür. Odun lifinin daha düşük çekme dayanımı ve kopma uzaması olması ve DYPE'ye nazaran daha düşük toklukta olması bu durumların sebepleri olarak verilmiştir [4].

Migneault ve arkadaşlarının 2008 yılında yayınladıkları çalışmada, odun liflerinin takviyesiyle YYPE matrisli karma malzemeler oluşturulmuş ve lif uzunluğunun imalatve malzeme özellikleri üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Lif uzunluğunun birçok mekanik özellik üzerinde belirgin etkisi olduğuna değinilmiş ve lif uzunluğunda artışın çekme ve eğilme özellikleri üzerinde olumlu etkisi olduğu belirtilmiştir. Malzemin iki kez ekstrude edilmesinin lif boyunu kısalttığı ama lif dağılımını iyileştirdiği ifade edilmiştir [5].

Wang ve arkadaşlarının 2009 yılında yayınladıkları çalışmada, saman takviyeli geridönüştürülmüş polietilen karma malzemeler farklı çapraz bağlayıcı kimyasallarla işlenmiş ve bu kimyasalların mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi incelenmiştir. Üretilen malzemelerin katkı oranları arttıkça, elastik modülleri iyileşmektedir [6].

Ohta ve arkadaşlarının 2002 yılında yayınladıkları çalışmada, yeni bir plastik geridönüşüm teknolojisi geliştirmeye çalışılmış ve bu geridönüştürülen malzemelerin kamyon parçalarında kullanımı hedeflenmiştir. Geridönüştürülmüş malzemeler hiç işlenmemiş malzemeyle %30, %50 ve %100 oranlarında karıştırılarak numuneler üretilmiştir. Atık plastik oranı arttıkça çekme ve eğilme dayanımında düşüş görülmektedir. Çalışma sonucunda boyalı atık plastiklerin tekrar işlenerek kamyonlardaki dış plastik parçalarda kullanıma uygun olabileceği belirtilmiştir [7].

J.D. Badia ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmaya göre geri dönüşümle birlikte gerçekleşen termo mekanik bozulmayla birlikte PET malzemesinde zincir ayrılmaları görülmüştür. Zincir ayrılmaları ise mekanik özelliklerinde düşüğe, malzemenin akıcılığında ise yükselişe neden olmuştur. Aynı zamanda en fazla 4 geri dönüşüm çevrimine kadar bu işlemin yapılabilceği görülmüştür. Geri dönüşümle birlikte MFR (melt flow rate) artışını molekül ağırlığındaki azalmayla açıklanabilir [8].



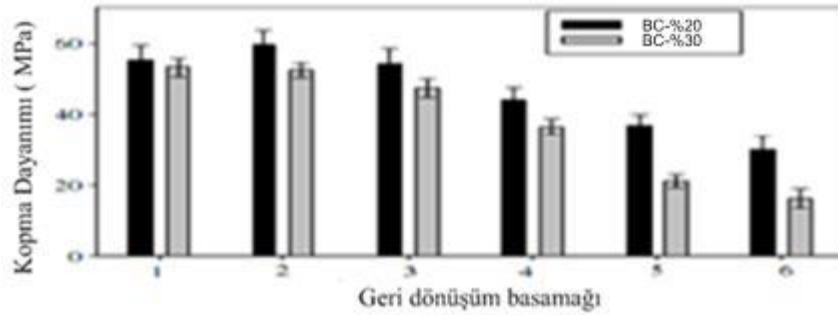
Şekil 1.1 : MFR değerlerindeki artış[8].

Çalışmada çıkartılan bir başka sonuç ise kristalleşme sıcaklığı geri dönüşümle beraber artmaktadır, böylelikle kristalleşme olayı plastikler de soğumayla birlikte daha erken ve daha hızlı gerçekleşmektedir. Ayrıca kristallik derecesi de her bir geri dönüşüm basamağından sonra artmaktadır. Artan kristallik derecesinin gevrekliğe yol açtığı yorumu getirilmiştir [8].

Çizelge 1.1: Geri Dönüşümle artış gösteren kristallik derecesi[8].

Malzeme	Soğutma Bölgesi		Isıtma Bölgesi			
	T _c (°C)	ΔH _c (J/g)	T _g (°C)	T _m (°C)	ΔH _m (J/g)	X _c (%)
VPET	170,3	-44,0	79,0	243,7	43,9	31,4
RPET-1	183,9	-57,5	79,1	246,1	57,7	41,2
RPET-2	188,2	-59,5	78,5	245,5	56,2	40,2
RPET-3	193,7	-66,8	78,3	247,0	67,6	48,3
RPET-4	196,5	-77,4	82,9	247,7	71,9	51,3
RPET-5	201,1	-67,4	84,9	248,7	59,6	42,6
RPET-6	202,9	-78,4	85,3	248,0	67,4	48,2

2008 yılında gerçekleştirilen çalışmada keten / PLLA (poly l-lactide) malzemesinin 6 geri dönüşüm işleminden sonraki mekanik ve ısıl etkileri incelenmiştir. Dolgu malzemesi olarak eklenen keten ağırlıkça %20 ve %30 oranlarında PLLA malzemesine eklenmiştir. 6 geri dönüşüm işlemi sonunda elastiklik modülünde L/d (keten uzunluğu / çapı) oranındaki düşüşten dolayı %20 dolgu takviyeli karma malzemede %12, ağırlıkça %30 dolgu takviyeli karma malzemede ise %7,7 azalış gözlenmiştir. Malzemenin kopma dayanımı da 6 geri dönüşüm basamağı sonrasında büyük bir düşüş göstermiştir.

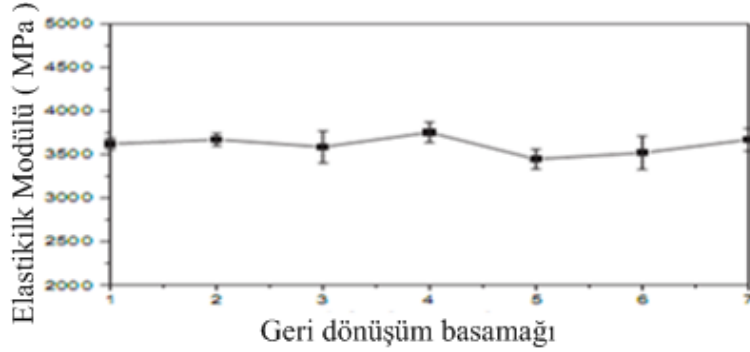


Şekil 1.2 : Kopma dayanımının geri dönüşüm basamağına göre değişimi[9].

Çalışmada bu düşüşün nedeni olarak elyafın geri dönüşümle beraber uzunluğunun azalması ve böylelikle matris ile takviye arasında yapışma azalması olarak gösterilmiştir. Çalışmada aynı zamanda geri dönüşümle beraber biokompozit malzemenin sünek davranışını kaybedip daha gevrek bir malzeme olarak davrandığı görülmüştür [9].

Isabella Pillin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada polilaktik malzemesinin reolojik ve mekanik özellikleri 7 kez geri dönüşüm işlemi sonrası için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre elastiklik modülünde çok az bir değişim gözlenirken, çekme

dayanımı ve kopma uzaması değerlerinde azalış elde edilmiştir. Bu düşüşün nedeni olarak molekül ağırlığındaki azalış gösterilmiştir. [10].



Şekil 1.3 : Elastiklik modülünün geri dönüşüm işlemine göre değişimi[10].

M.D.H Beg ve K.L. Pickering çalışmalarında takviye uzunluğunun ve yüzey pürüzlülüğünü arttırmak amacıyla yapılan dövme işleminin ambalaj kağıdı takviyeli PP matrisli karma malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkileri incelemiştir [11]. Çalışma sonunda çekme dayanımı, elastiklik modülü ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerin takviye boyunun uzunluğuna bağlı olarak düştüğü, diğer yandan ise kopma uzamasının arttığı gözlenmiştir. Takviye malzemesine uygulanan dövme işlemi sayesinde matris faz ile takviye malzemesi ara yüzeyinde yapışma arttığından dolayı çekme dayanımında artış görülmüştür. Çalışmaya göre mekanik dövme işlemiyle beraber;

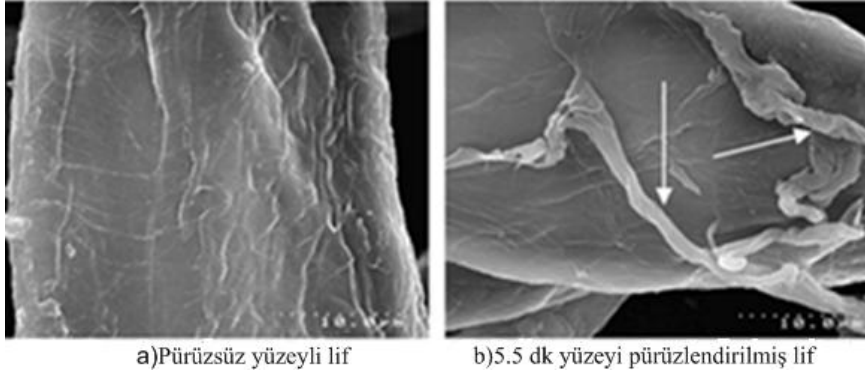
1. Takviyeler kısalıyor
2. Yüzeyden çıkıntılar oluşuyor böylelikle takviye yüzey alanı genişliyor
3. Yüzeyden iç kısma girintiler oluşuyor böylelikle matris faz ile daha uyumlu bir yapı oluşuyor.

Çizelge 1.2 : Lif uzunluğunun mekanik özelliklere etkisi[11].

Ortalama lif uzunluğu (mm)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Darbe Dayanımı (KJ / m ²)
3,07	43±1,4	4600±460	1,91±0,6	6,5±0,5
2,36	41±1,	4553±500	1,99±0,5	6,2±0,5
0,95	37±1,2	3879±340	2,47±0,5	5,6±0,6

Çizelge 1.2’de ortalama takviye uzunluğuna göre elastiklik modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve darbe dayanımına etkisi görülüyor.

Mekanik dövme işlemiyle beraber oluşan bu etkiler sayesinde matris faz ile yapışma yüzey alanının artışıyla mekanik özelliklerde iyileşme sağlanıyor [11].



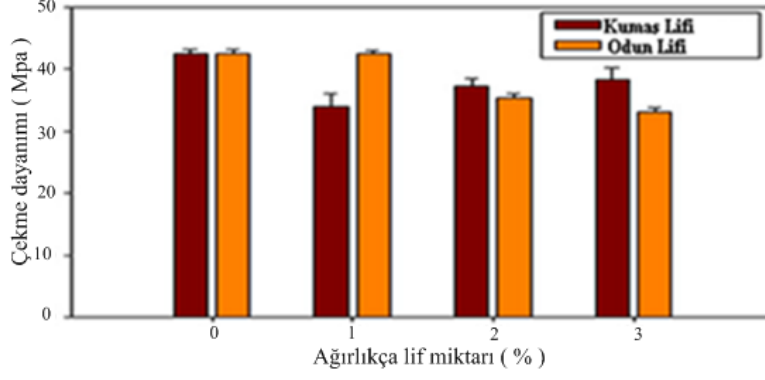
Şekil 1.4: Mekanik dövme işlemine uğramış lif yüzeyinin SEM görüntüleri[11].

Bir diğer çalışmada ise PP / bitkisel takviyeli karma malzemelerin 7 kez geri dönüşüm işleminden geçtikten sonraki elastiklik modülündeki değişimler incelenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuca göre geri dönüşüm işleminin karma malzemenin elastiklik modülü üzerinde çok az bir azalış dışında kayda değer bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Elastiklik modülünde görülen bu değişimi ise L/d oranı olan ve takviye boyunun çapına bölünmesiyle elde edilen şekil oranının azalmasına bağlamışlardır. Buna göre geri dönüşüm işlemiyle beraber takviye malzemesin boyu ve çapı azalmıştır [12].

A.G.Pedroso ve diğerlerinin yürüttüğü çalışmada ağırlıkça %30, %40 ve %50 takviye oranlarında mısır nişastası içeren geri dönüştürülmüş düşük yoğunluklu PE matrisli karışım malzemesinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Erime indeksi, çekme dayanımı ve kopma uzaması gibi değerlerde azalma gözlenirken, elastiklik modülünde ise artış sağlanmıştır. SEM görüntülerine bakıldığında takviye malzemesiyle matris faz olan AYPE ara yüzünde bağlantının zayıf olduğu görülmüştür. Matris faz ile takviye arasındaki zayıf ara yüz bağlantısından dolayı karma malzemenin mekanik özelliklerinde düşüş olduğu yorumu getirilmiştir. Çalışmada ayrıca elastiklik modülündeki artışın sebebi, geri dönüşüm sonucu çapraz bağ oluşumunu ve polimer zincirlerin dallanmasını sağlayan radikallerin başlattıkları reaksiyonların bir yansıması ve bunun sonucunda daha rijit bir yapının ortaya çıkması gösterilmiştir [13].

2007 yılında A. Bourmaud ve C. Baley' in gerçekleştirdiği bir çalışmada bitkisel lif ve cam elyaf dolgulu PP matrisli karma malzemelerin 7 kez geri dönüşüm sonucu göstermiş oldukları mekanik davranışlar incelenmiştir. Bitkisel lif olarak kenevir lifi ve sisal (kenevir ağacının daha dayanıklı çeşidi) lifi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda malzemenin mekanik özelliklerinde geri dönüşüm sonucunda çok fazla bir değişim olmadığı kanıtlanmıştır. Elastiklik modülü PP/sisal karma malzemelerde yaklaşık %10'luk bir azalma görülürken, PP/ hemp (kenevir) karma malzemelerde ise 7 kez geri dönüşüm sonucu herhangi bir değişim gözlenmemiştir. PP / sisal karma malzemesinin elastiklik modülünde görülen düşüşün nedeni olarak sisal liflerinin 1. ve 2. kırma sonucunda daha fazla kısılması gösterilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlardan biri de saf PP malzemesinin 7 kez geri dönüşümü sonucunda elastiklik modülünde molekül ağırlığının azalması sonucunda düşüş gözlenirken, PP / cam elyaf karma malzemesinde elastiklik modülündeki düşüş sadece elyafların zarar görmesi ve molekül ağırlığının azalmasıyla değil aynı zamanda 7 kırma işlemi sonucunda matris fazla cam elyaf arasında tutunma azalmasıyla açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmada aynı zamanda karma malzemenin reolojik davranışları da incelenmiştir. Buna göre 7 kez geri dönüşümle beraber polimerler zincirlerinin ayrışması ve liflerin kısılmasıyla malzemenin viskozitesinde düşüş olduğu gözlenmiştir [14].

Sam-Jung Kim ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada doğal takviyeli/ PP matrisli karma malzemenin mekanik davranışı incelenmiştir. Doğal takviye olarak ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranlarında odun lifi ve pamuk lifleri kullanılmış ve her iki lifin karma malzeme üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. Odun lifinin karma malzeme içerisindeki oranı arttıkça malzemenin çekme dayanımında azalış gözlenirken, pamuk lifi içeren karma malzeme de ise pamuk lif miktarı arttıkça çekme dayanımında artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi olarak ise pamuk liflerinin odun liflerine nazaran biraz daha karmaşık ve birbirine dolanmış bir formda olması gösterilmiştir [15].



Şekil 1.5 : Çeşitli doğal takviye oranına göre çekme dayanım değerleri[15].

Çam ağacı talaşı takviyeli polimer matrisli karma malzemenin 8 defa kırıp tekrar işleminden geçirilerek elde edilen sonuçlarda ise özellikle %50 takviye içeren karma malzemenin 2 defa kırma işleminden geçirilip tekrar üretilmesiyle elde edilen malzemenin çekme dayanımının ve elastiklik modülünün, dağılımın homojenleşmesi, matris faz ile takviye malzemesi ara yüzey yapışma miktarının artmasıyla ve mikro boşlukların azalmasıyla beraber arttığı görülmüştür [16].

A. Bernasconi ve arkadaşları tarafından 2006 yılında gerçekleştirilen ve karma malzemelerde takviye lif uzunluklarının dayanım üzerine etkilerini araştıran bir çalışmada, lif uzunluklarının geri dönüşümle beraber kısılmasıyla malzemenin çekme dayanım değerlerinin düştüğü sonucuna varılmıştır [17].

Genel olarak doğal lif takviyeli polimer matrisli karma malzemelerin tekrar tekrar geri dönüşümü sonrasında ısıl bozulmaya, çapraz bağlanmaya neden olduğu ve daha gevrek bir yapıyı oluşturduğu Balatinecz tarafından yürütülen çalışmada görülmüştür. Geri dönüşüm işlemiyle beraber gazete kâğıdı takviyeli polietilen ve polipropilen karma malzemelerin mekanik özelliklerinde az miktarda azalma olurken, erime akış indeksi (MFI) değerlerinde ise artış olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. [18]

2002 yılında Neaz Ahmed ve Javaid H.Khan tarafından gerçekleştirilen çalışmaya göre 5 defa geri dönüşüm işleminden sonra polimer zincirlerinde kırılmaların meydana geldiği ve bunun sonucunda MFI (erime akış indeksi) değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu bilgiye dayanarak geri dönüşümle beraber polimer malzemedeki bozunmanın gerçekleştiği sonucu çıkarılmıştır [19].

2. KARMA MALZEMELER

Günümüzde karma malzeme denildiğinde tam bir tanım bulunmamakla beraber şöyle bir tanım yapılabilir. Karma malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla oluşturulan malzemeler olarak tanımlanabilmektedir

Karma malzemelerde çekirdek olarak kullanılan bir takviye malzeme olup, bu malzemenin çevresinde de hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Bu iki malzeme grubundan, takviye malzeme karma malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve karma malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da takviye malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında dağıtmaktır. Böylece takviye malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olur[20].

Karma yapıyı oluşturan takviye ve matris malzemesinin görevleri şu şekilde sıralayabiliriz:

Takviye elemanının temel fonksiyonları;

- Karma malzeme yapısına gelen yükün yaklaşık %70 - 90'lık kısmını taşımak.
- Karma malzemenin dayanımını, ısı kararlılığını ve rijitliğini ve diğer yapısal özelliklerini sağlamak.
- Kullanılan takviye malzemesine göre elektriksel iletkenliği veya yalıtkanlığı sağlamak [21].

Matris malzemesi, karma yapının performansını önemli derecede etkileyecek fonksiyonları yerine getirmektedir. Takviye malzemeleri genellikle matris malzemeleri veya bağlayıcı olmadan çok az kullanılmaktadırlar. Matris malzemesinin genel olarak görevlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

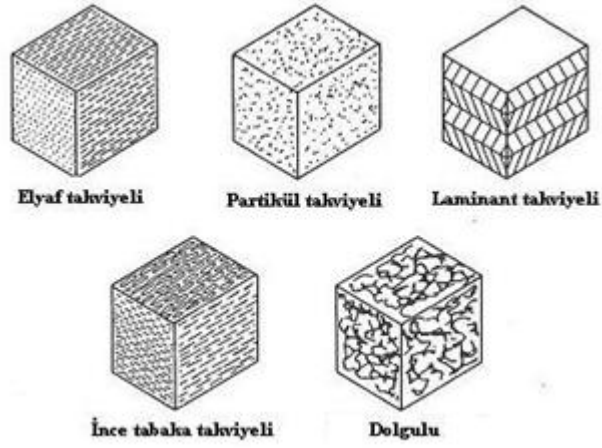
- Matris malzemesi lifleri birbirlerine bağlar ve yükü liflere aktarır.

- Matris malzemesi her bir lifin kendi başına yükü karşılamasına imkân tanır. Böylelikle çatlak gelişimi ya engellenir ya da yavaşlatılmış olunur.
- Matris malzemesi sayesinde karma yapıda iyi bir yüzey kalitesi elde edilir.
- Matris malzemesi takviye liflerini kimyasal ve mekanik aşınmaya karşı korur.
- Seçilen matris malzemesine bağlı olarak süneklik, darbe dayanımı gibi özellikler geliştirilebilir. Eğer sünek bir matris malzemesi seçilirse yapının tokluğu artacaktır. Yüksek tokluk gerektiren uygulamalarda termoplastik matrisli malzemelerin seçilmesi gereklidir.
- Karma yapının hasara uğrama biçimi ciddi bir şekilde matris malzemesine ve lif-matris uyumuna bağlıdır [21].



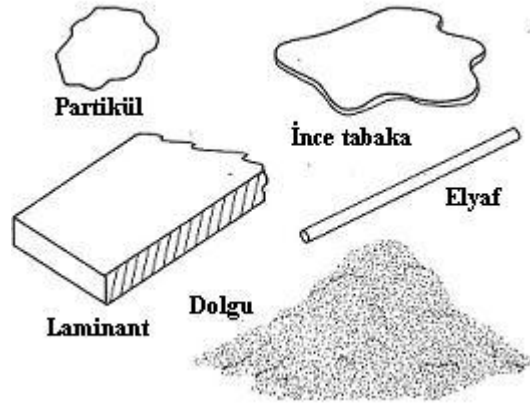
Şekil 2.1: Reçine ve takviyeden oluşan karma yapı [21].

Çoğu tipik karma malzemeler matris faza gömülü olan elyaf veya parçacık bileşenlerinden oluşurken, bazıları da matris fazı olmayan ve sadece iki ya da daha fazla farklı malzemelerin bir araya gelerek oluşturduğu karma malzemelerdir. Sandaviç ve laminat şeklindeki malzemeler bu tür karma malzemelere iyi örneklerdir. Bu yapılar karma malzemeye şeklini veren katmanlardan oluşmuştur. Birçok keçe ve kumaş herhangi bir matris faza sahip değildir fakat tamamen bağlayıcısı olsun ya da olmasın çeşitli bileşimlerdeki elyaflardan meydana gelir. Şekil 2.2’de bazı karma malzeme çeşitleri görülmektedir [20].



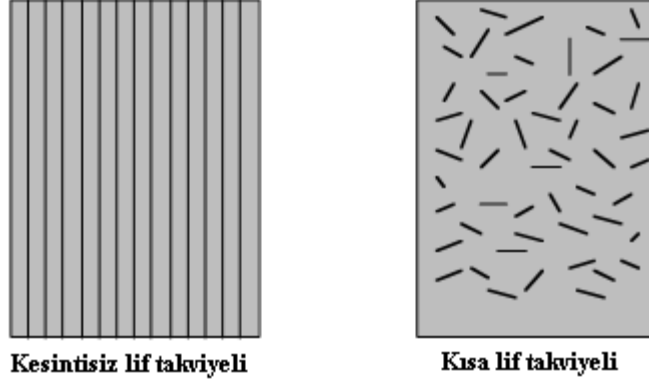
Şekil 2.2: Çeşitli karma yapılar [20].

Yapısal karma malzemelerde yükün büyük bir kısmını matris faza eklenen takviyeler taşımaktadır. Şekil 2.3 'de karma malzeme üretiminde kullanılan çeşitli formlardaki takviye ve dolgular görülmektedir.



Şekil 2.3: Karma malzemelerde kullanılan çeşitli formlardaki bileşenler [20].

Uygulama alanına ve imalat yöntemine göre elyaf takviyelerin şekli seçilmelidir. Yapısal uygulamalar için sürekli ve uzun elyaflar tavsiye edilirken, yapısal olmayan ve yük altında çalışmayacak ve enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri ile üretimi gerçekleşecek karma malzemeler için kısa elyaf takviyeler tavsiye edilebilir. Kısa elyaf takviyeli karma malzemeler uzun elyaf takviye karma malzemelere nazaran daha düşük dayanım özellikleri sergilemektedir [21].



Şekil 2.4: Sürekli ve parçalı lif takviyeli karma malzemeler [21].

2.1 Karma Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Karma malzemelerin özelliklerinin metallerinkine göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, metal malzemelere göre önem kazanmışlardır. Karma malzemelerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu hafif konstrüksiyonlarda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, takviyeli karma malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır.

Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır. Karma malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde karma malzemeler metalik malzemelerin yerini alabilecektir.

Yüksek Mukavemet: Karma malzemelerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı karma malzemelere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemenin tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.

Kolay Şekillendirilebilme: Büyük ve karmaşık parçalar tek işlemle bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.

Elektriksel Özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip karma malzeme ürünleri elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında karma malzemeler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet: Karma malzemeler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle karma malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır.

Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.

Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen karma malzemelerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile karma malzemelerin ısıya dayanımı artırılabilir.

Kalıcı Renklendirme: Karma malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

Titreşim Sönümlendirme: Karma malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak ilerlemesi olayı da böylece en aza indirilmiş olmaktadır.

Bütün bu olumlu yanların dışında karma malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Karma malzemelerdeki hava boşlukları malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Karma malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellikler gösterirler.
- Aynı karma malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
- Karma malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.

Görüldüğü gibi karma malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile karma malzemeler otomobil gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar birçok sanayi kolunda problemleri çözümlenecek bir malzemedir [22].

2.2 Karma Malzemelerin Sınıflandırılması

2.2.1 Biçimlerine göre karma malzemeler

Karma malzeme yapılarını oluşturma seçeneği çok geniş ve farklı olduğundan dolayı sınıflandırma yapabilmek oldukça güç olmakla beraber, biçimlerine göre şu şekilde sınıflandırma yapılabilir.

- Elyaf takviyeli malzemeler
- Parçacık takviyeli karma malzemeler
- Tabakalı karma malzemeler

Bu çalışmada söz konusu elyaf takviyeli karma malzemeler olduğundan burada yalnızca elyaf takviyeli karma malzemeler ele alınacaktır.

2.2.1.1 Elyaf takviyeli karma malzemeler

Bu karma malzeme tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi karma yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit dayanım sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür.

Elyafların mukavemeti karma yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca elyafların şekil oranı (L/d) arttıkça matris fazı tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır.

Karma yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağıdır. Matris yapısında boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem emişi elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir [23].

2.2.2 Matris malzemesine göre karma malzemeler

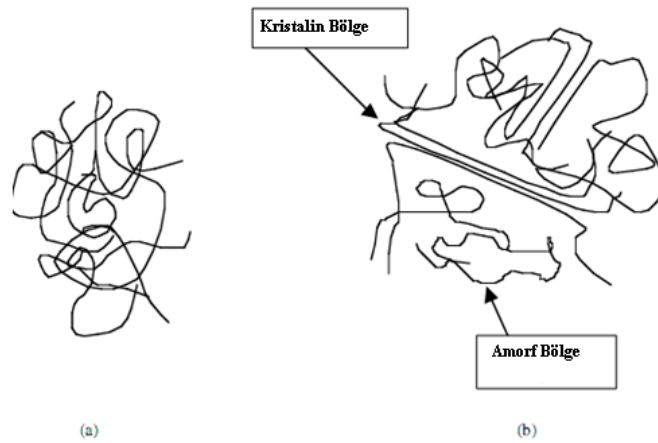
Matris malzemeleri temel olarak 3 grupta incelenmektedir [20].

1. Metal Matrisli Karma Malzemeleri

2. Seramik Matrisli Karma Malzemeleri
3. Polimer Matrisli Karma Malzemeleri

2.2.2.1 Termoplastik matrisli karma malzemeler

Termoplastik malzemeler genel olarak termoset malzemelere göre sünek ve tok malzemelerdir ve herhangi bir takviye malzemesi olmaksızın yük altında çalışılmayan uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Şekillendirilebilmeleri için ısıtılmaları gereken termoplastikler, soğuduktan sonra şeklini korur. Bu plastikler, özelliklerinde önemli değişiklikler olmadan defalarca ısıtılarak yeni şekillere sokulabilir [24]. Termoplastik molekülerde çapraz bağ oluşumu gözlenmemektedir, dolayısıyla esnek ve şekillendirilebilirlerdir. Termoplastik malzemeler Şekil 2.5’de görüldüğü gibi amorf ya da yarı-kristalin yapıda bulunmaktadır.



Şekil 2.5 : Termoplastiklerin molekül yapısı a)Amorf yapı b)Yarı Kristalin yapı [21].

Amorf yapıdaki termoplastiklerde molekül düzeni gelişigüzel iken yarı-kristal yapıdaki plastiklerin kristal bölgeleri ise düzenli bir biçimdedir. Moleküllerin karışık yapısından dolayı plastiklerde %100 kristal yapı elde etmek imkânsızdır [21]. Çizelge 2.1’de belli başlı termoplastiklerin genel özellikleri verilmiştir.

Yük altında çalışılan uygulamalar için kullanılan termoplastik malzemeler genellikle dolgu ve takviyeler ile birlikte kullanılmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda termoplastik malzemeler termosetlere nazaran düşük sürünme direnci göstermektedir ve kimyasallara karşı daha az dayanıklıdır. Termoplastik malzemelerin birbirleriyle kaynak-bağlantı yapılabilmesi termoset malzemelere oranla daha kolaydır.

Termoplastik karma malzemelerin termosetlere kıyasla daha yüksek sıcaklık ve basınçta şekillendirilebilir. Günümüzde termoplastik malzemeler termoset malzemelere göre karma malzeme imalatında karşılaşılan bir takım problemlerden dolayı daha az kullanılabilir [21].

Çizelge 2.1 : Bazı polimerlerin genel özellikleri [21]

Polimer Malzeme	Yoğunluk (g / cm³)	Elastiklik Modülü GPa (10⁶psi)	Çekme Dayanımı MPa (10³ psi)
Naylon	1.1	1.3-3.5 (0.2 - 0.5)	55-90 (8 - 13)
PEEK	1.3-1.35	3.5-4.4 (0.5 - 0.6)	100 (14.5)
PPS	1.3-1.4	3.4 (0.49)	80 (11.6)
Polyester	1.3-1.4	2.1-2.8 (0.3 - 0.5)	55-60 (8 - 8.7)
Polikarbonat	1.2	3.5 (0.5)	55-70 (8 - 10)
Asetal	1.4	0.7-1.4 (0.1 - 0.2)	70 (10)
Polietilen	0.9-1,0		20-35 (2.9 - 5)
Teflon	2.1-2.3		10-35 (1.5 - 5.0)

Düşük yoğunluklu polietilen

Kimyasal olarak en basit ancak en son bulunan plastiklerden birisi olan polietilen, sağlam, esnek ve yalıtkan bir yapıya sahip olmasına karşın; ısı, ışık ve oksijene karşı dayanıklı değildir. Katkı maddelerinin kullanımı ve molekül yapısının ayarlanması ile daha dayanıklı polietilen ürünleri elde edilebilmektedir. Bu özellikleriyle polietilen, ambalaj malzemesi, ağır hizmet torbaları esnek hortumlar, değişik amaçlı borular, mutfak eşyası, oyuncak, bidon, şişe vb. üretiminde kullanılmaktadır.

Termoplastik reçine gruplarından olan düşük yoğunluklu polietilen, etilen polimerleştirilerek elde edilir ve genel olarak film, boru, kablo ve muhtelif amaçlı plastik kapların yapımında kullanılır. DYPE geniş bir sıcaklık aralığında hem kuvvetli hem esnek olabilme özelliği taşır [24].

Düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) bir otoklavda veya boru tipi tübular reaktörde, etilen monomerlerinin 1200-3000 atm basınç ve 130-350°C sıcaklıkta, organik peroksitlerin yardımıyla polimerizasyonundan elde edilir. DYPE'nin yoğunluğu 0.910-0.925 gr/cm³ arasında değişir [25].

DYPE'nin tüm kullanımları için tüketimi 140 bin tonu bulmuştur. DYPE'nin en önemli kullanım alanı film üretimidir. Öyleki, film üretimindeki kullanımı, toplam kullanımın % 90'ını oluşturmaktadır. Film kullanımının % 50'si gıda ve endüstriyel ürünlerin paketlenmesinde ve geriye kalan diğer kısım ise tarımda kullanılmaktadır [26].

Polietilenlerin genel karakteristik özellikleri şöyledir:

- Sağlamdır,
- Asit, baz ve çözücülere dayanıklıdır,
- Dielektrik özellikleri üstündür,
- Çevre şartlarına dayanıklıdır,
- Kolay işlenebilirler [26].

Zincirdeki dallanmalar kristalliğin derecesini tayin eder. YYPE'de dallanma çok az olup ve molekül yapısı lineerdir. Kristallik arttıkça sertlik artar, mekanik ve kimyasal özellikler iyileşir ve sıvı ile gazlara karşı dayanıklılık artar. DYPE'nin kristalliğini ayarlamak için vinil asetat akrilik esterleri ilave edilir. Polimerler için ortalama molekül ağırlığı tanımlanır. Ortalama molekül ağırlığı, yaklaşık olarak erime indeksiyle belirlenir. Erime indeksi molekül ağırlığıyla ters orantılıdır. Yüksek molekül ağırlıklı PE'ne bağlanmada organik peroksitler kullanılır [24].

Polietilen, yüksek ve alçak basınç prosesleri olmak üzere belli başlı iki temel yöntemle üretilir. Yüksek basınç prosesi ile alçak yoğunluklu polietilen ve kopolimeri, düşük basınç prosesiyle ise yüksek yoğunluklu polietilen ve yeni geliştirilmiş olan lineer DYPE türü üretilir. YYPE, organometalik, krom oksidi, vanadyum ve molibden oksidi gibi katalizörler yardımıyla 1-80 atm basınç ve 70-300° C sıcaklıkta etilenin polimerizasyonu sonucu elde edilir. Polimerler dallanmış moleküller yapıya sahip olup yoğunlukları 0,940-0,965 gr/cm³ arasında değişir [27].

Orta yoğunluklu PE'nin (OYPE) yoğunluğu 0,926-0,940 gr/cm³ arasında olup yüksek veya alçak basınç prosesi ile DYPE ve YYPE'nin fiziksel karışımı olarak elde edilir [27].

PE İşleme Teknikleri:

- Film Ekstrüzyon: YYPE’de az olmakla birlikte DYPE’nin en yaygın işleme alanı film imalidir.
- Ekstrüzyon kalıplama
- Şişirme ile kalıplama
- Sıcak eriyik kapamaları ve yapıştırıcılar
- Toz kaplamalar
- Tel ve kablo imali [27]

2.3 Polimer matrisli karma malzemelerin imalat yöntemleri

Polimer matrisli karma malzemelerin imalatında çeşitli yollar kullanılmaktadır. Kalıplanacak parçanın geometrik şekli, boyutu, reçine türü ve özellikleri, takviye şekli, malzemeden beklenen özellikler imalat yöntemi seçimini etkileyen esas faktörlerdir. İstenilen özelliklerde ve biçimde polimer esaslı karma malzeme üretimi için birçok yöntem bulunmaktadır. Çizelge 2.2 ’de imalat yöntemleri için seçim kriterleri gösterilmiştir. Bu yöntemlerden başlıcaları aşağıdadır;

Çizelge 2.2: Polimer matrisli karma malzeme imalat yöntemi seçim kriterleri [28].

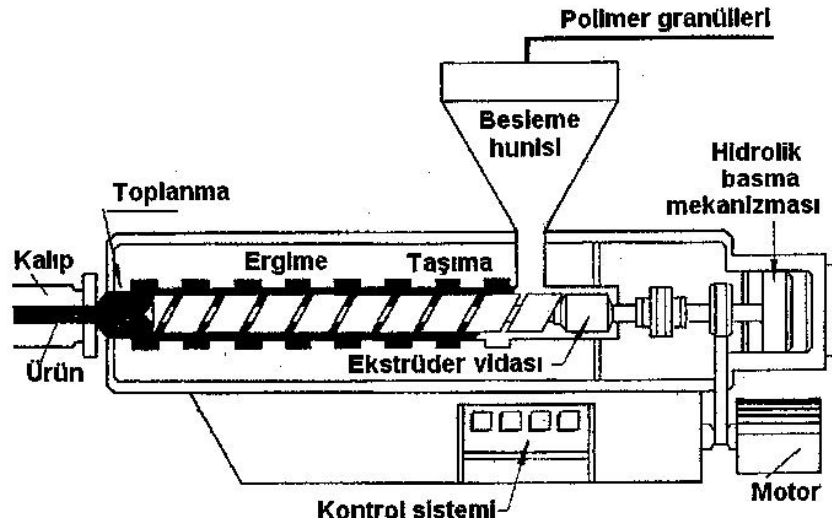
İşlem	İmalat Hızı	Dayanım	Şekil	Hammadde
Elle Yatırma	Yavaş	Yüksek	Basitten Karmaşığa	Prepreg ve kumaş ile Epoksi Reçine
Spreyleme	Orta-Hızlı (Değişken)	Düşük	Basitten Karmaşığa	Kesikli Lif ile Katkılı Reçine (Sertleştiriciyle)
Enjeksiyon Kalıplama	Hızlı	Orta	Basitten Karmaşığa	Preform ve Kumaş ile Poliizosiyanat Reçine
Reçine Transfer Kalıplama	Hızlı	Düşük-Orta (Değişken)	Karmaşık	Kesikli Lif ile Termoplastik Reçine

2.3.1 Ekstrüzyon yöntemi

1940- 1950 yılları arasında sentetik esaslı polimerlerin olağanüstü hızlı bir şekilde gelişmesi ve üretilmesi, bunların işlenmesi için de bir sektör oluşturmuştur. Polimerlerin elde edilmesi ve bunların işlenmesi, birbiriyle ilişkili olduğundan polimer işleme endüstrisi de hızlı bir gelişme göstermiştir. Polimer işleme endüstrisi, kimyasal işleme elde edilen polimerin ısıl ve mekanik işlemlere tabi tutulmasıyla istenen son ürün haline getiren endüstri dalıdır. Polimer işleme endüstrisinin gelişme

göstermesinde ekstrüzyon işleminin büyük rolü olmuştur. Ekstrüzyon prosesinin en göze çarpan özelliği silindirik bir kovan ve içinde dönen vidadır ve bu süreç günümüzün en önemli polimer işleme tekniğidir. Polimerlerin yaklaşık %60'ı bu yöntemle işlenerek son ürün halini alır [28].

Latince olan "extrude" kelimesi "ex" (dışarı) ve "trude" (itmek) kelimelerinin birleşmesiyle oluşur. Ekstruder ise anlaşılacağı üzere bir malzemeyi zorlayarak dışarı sevk eden bir makine olarak düşünülebilir. Vidalı ekstruder, katı polimeri etkin ve kesintisiz bir şekilde eriyik haline getirir ve yüksek viskozitedeki eriyiği pompalayarak basınç altında çıkışa gönderir. Ekstrüzyon süreci sonunda polimerin kimyasal özelliklerinde önemli bir değişiklik görülmemektedir [28].



Şekil 2.6 : Tek vidalı bir ekstruderin şematik gösterimi [29].

Şekil 2.6'da gösterildiği gibi ekstrüzyon makinesi, enjeksiyon makinesinde olduğu gibi toz veya granül halindeki reçine, bir besleme hunisinden sürekli olarak bir ısıtma silindrine (kovan) gönderilir, burada bulunan sonsuz vidanın yardımı ile ileri itilir, silindirde ilerledikçe gerek silindir cidarından aldığı ısı ile gerekse kaymanın meydana getirdiği iç sürtünmeden dolayı ısınır, yumuşar ve erir. Silindirin ucuna ulaştığında belli bir miktar depolanır ve buradan makinenin ucuna bağlı olan ve mamulün kesit şeklini tayin eden bir kalıptan basılarak geçmeye zorlanır ve böylelikle kalıbın boşluğunun şeklini alan ürün elde edilir [29].

Polimerlerin işlenmesi eriyik ve plastik ekstrüzyonu ile yapılmaktadır. Polimer, ekstrudere eriyik halinde beslenmişse eriyik ekstrüzyonu söz konusudur. Bu

şekildeki ekstruderler bir tek bölgeye sahiptir. Bu da eriyik taşıma bölgesidir. Plastik ekstruzyonu ise katı polimeri eritmek suretiyle yapılan ekstruzyon işlemidir. Polimer elde edildikten sonra katı hale getirilip depolanır veya elyaf üretimi için başka tesislerde işlenir. Bu ekstruzyon işlemine plastikleştirici ekstruzyon denilmektedir [27].

İşlenecek katı polimerler granül, toz veya küçük tanecikler halinde üretilirler. Polimerin verimli bir şekilde işlenmesine yardımcı olan; antioksidan, plastikleştirici madde, pigment, yağlayıcı madde gibi yardımcı maddeler de granül besleme haznesinden ekstrudere verilebilir. Ekstruderde işlenecek olan polimerin fiziksel özelliklerini etkileyen ve değiştirebilen bu yardımcı maddeler hidrodinamik ve termodinamik özellikleri etkilediğinden ekstruderin teorik olarak analizinde polimere olan etkileri ihmal edilmektedir [27].

Ekstrüderin performansı büyük ölçüde vida tasarımına ve çalışma koşullarına bağlıdır. Vidanın temel geometrik değişkenleri: vida sayısı ve geometrisi, kanal derinliği ve ekstruder boyunca derinlik değişimi, vida ile kovan arasındaki radyal açıklık olarak gösterilebilir. Vida ve kovan malzemesi çeliktir ve aşınmaya karşı sertleştirilebilir [27].



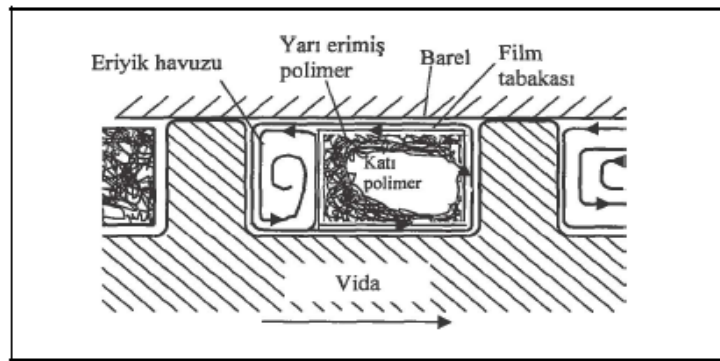
Şekil 2.7 : Farklı tasarımlara sahip ekstruder vidaları [31].

Tek vidalı ekstruderlerde, polimer malzemesine ve istenen çıkış özelliklerine göre eritme ve basınç bölgeleri daha uzun olabilirken, iki veya daha fazla vidanın bir arada kullanıldığı ekstruderlerde bölüm sayıları birden fazla (örneğin iki eritme

bölgeli, iki basınç bölgesi) olacak şekilde tasarım edilebilmektedir. Ekstruder işlemi sırasında kontrol edilmesi gereken önemli değişkenler vida hızı, vida sıcaklığı ve çıkış basıncı olarak gösterilebilir. Vida hızı ekstruderin büyüklüğüne ve imalatkapasitesine bağlıdır [27].

İmalathızının sınırını belirleyen asıl faktör polimerin kaliteli bir şekilde işlenebilmesidir. İstenen sıcaklık ve basınç değerlerinin çıkışta elde edilmesi ve polimerin ısı olarak homojen olması, polimerin kaliteli işlendiğini gösteren parametrelerdir. Yüksek hızlarda çalışan ekstruderlerde veya büyük vida çaplı ekstruderlerde polimerin ekstruder içerisinde tam olarak eritilmesi ve homojen bir yapı elde edilmesi zor olmaktadır. Büyük vida çaplı ekstruderlerde, eritme yapılan hacmin büyük olmasından dolayı yeterli eritmenin sağlanabilmesi için daha yavaş bir çalışma hızı ve daha uzun bir vida gerekmektedir. Hızlı çalıştırılan ekstruderlerde ise yeterli eritme için daha uzun vida gerekmektedir. Yapılan deneylerde 1000-2000 dev/dk hızda çalıştırılan ekstruderlerde üretilen polimerler düşük hızda çalıştırılanlara göre daha az kaliteli olmaktadır [29].

Ekstrüzyonda temel işlem değişkenleri vida hızı ve sıcaklık değişimidir. Temel konstrüksiyon parametreleri ise vida uzunluğu (L) ve çapı (D) olup bunların birbirine oranı (L/D) ekstruder karakteristiğini belirlemektedir. L/D büyük ölçüde ekstruderden çıkışı, polimer çıkış süresini ve polimere ısı transferi için uygun silindir yüzeyini belirler. Ekstruder tasarımı yapılırken vida geometrisi önemli olmaktadır [29].



Şekil 2.8 : Tek vidalı ekstruderde erime mekanizması [30].

Taşıma bölgesinden basınç bölgesine geçiş yonga veya granül halindeki katı polimerin ısıtılmış kovan ve erimiş polimerlerle temasa geçerek ısınması ve erimesi

sonucu kademeli olarak gerçekleşir. Polimerin ısıtıcı eleman olan kovan ile temas ettiği yerlerde eriyerek ince film tabakası oluşturduğu ve kovan-vida arasında yağlayıcı madde gibi davrandığı görülmektedir. Eriyen polimer vidanın öteleme hareketine ters olacak şekilde vida kanalının geri kısmına doğru eriyik havuzu oluşturmaya başlar. Havuzdaki malzeme, sıcaklık artışı ve vida hareketine bağlı olarak kademeli bir şekilde hacmini artırır ve katı polimeri hapsederek basınç bölgesine yakın vida kanallarında tamamen eriyik halini alır [29].

3. GERİ DÖNÜŞÜM İŞLEMİNİN TERMOPLASTİK MALZEMELER ÜZERİNE ETKİSİ

Polimer malzemelerin geri dönüşüm işlemi genel anlamda doğal kaynakların kullanımının azalmasına, hammaddenin üretimindeki ve nakliyesindeki enerji tasarrufuna ve çevreye zararın en aza indirgenmesini sağlamaktadır.

Geri kazanılan plastiklerin toplandığı kaynaklar;

- **Endüstriyel plastik atıklar** : Bu tip atıkların plastik cinsi bellidir dolayısı ile ayırma ve hiçbir temizleme işlemi gerçekleştirilmeden yeniden işlenmeye hazır plastik atıklardır.
- **Büyük süpermarketlerden çıkan paketlenme amaçlı kullanılmış plastik atıkları** : Bu tip atıklar çok kirli olmamakla birlikte değişik plastiklerin karışımıdır dolayısıyla ayırma ve temizleme gerektirebilirler.
- **Evlerde kullanıldıktan sonra toplanan plastik atıklar** : bu tip atıklar organik sebze meyve parçaları dahil pek çok madde ile temas ederek kirlenmiş atıklar olduklarından temizlenmeleri gerekir. Kişi başına günde yaklaşık 0.5-0.7 kg atık malzeme çıkmaktadır. Atıkların yaklaşık %80-85'i organik malzemeler, %7-10 kadarı kağıt, %4-6 kadarı ise plastiktir [24].

Plastik malzemeler birçok alanda kullanılmaktadır ve plastik kullanımının önemli bir ögesi olan geri dönüşüm işlemi de geniş bir teknoloji ağıyla yapılabilmektedir. Geri dönüşüm işlemlerinden en önemlisi olan mekanik geri dönüşüm işlemi plastik parçayı mekanik olarak bıçaklarla küçük parçalar haline getirme, yıkama, yabancı atıklardan arındırma ve en son olarak da küçük parçaları geri dönüşüm ekstrüderlerinden geçirerek granül haline getirme işlemlerinden meydana gelmektedir. Geri dönüştürülmüş plastik granüller böylelikle tekrardan üretimde kullanılabilir hammadde haline gelmektedir. Mekanik geri dönüşüm işleminin artılarının yanısıra bazı dezavantajları ve zorlukları da bulunmaktadır.

Bu zorluklar ;

- Olabildiğince temiz plastik parçaları bulmak
- Plastik ürünlerin içeriğindeki polimer türlerini verimli bir şekilde ayırmak
- Prosesin işçi gücü gerektirmesi

olarak sayılabilmektedir.

Geri dönüşüm işlemi polimer malzemelerin özelliklerini etkilemektedir. Mekanik geri dönüşüm işlemiyle beraber polimeri meydana getiren molekül zincirleri kısalmaktadır. Küçük zincirlerin nispeten daha fazla olması, kolay kristallenebilen zincirlerin fazla olmasını, dolayısı ile malzemenin nispeten daha sert olmasına yol açar. Zincir uzunluklarının birbirinden çok farklı olması farklı büyüklükte ve yapıda kristal yapılarının oluşmasına neden olurken kristalleşmemiş küçük zincirli bölgeler zayıf nokta gibi davranıp darbe mukavemetinin düşmesine yol açar; yani üzerlerine yük bindiğinde yeteri kadar dayanıklı olamazlar. Geri dönüşümle beraber kısalan molekül zincirleri proses esnasında eriyik haldeki polimerin akışının daha rahat olmasını da sağlar. Öte yandan geri dönüşüm işleminin polimer malzemelerin mekanik özellikleri üzerine olumsuz etkileri cam elyaf gibi takviye malzemeleri ve mika, CaCO_3 gibi dolgu malzemelerinin geri dönüştürülmüş polimerlere katılmasıyla karşılanabilmektedir [31]. Geri dönüştürülmüş polimer malzemelerin tekrar ekonomiye kazandırılması için karma malzeme yapımında kullanılması yaygın olarak gerçekleştirilmektedir [24].

Genel olarak geri dönüşüm işlemiyle beraber polimer malzemelerde şu etkilerin olması beklenmektedir.

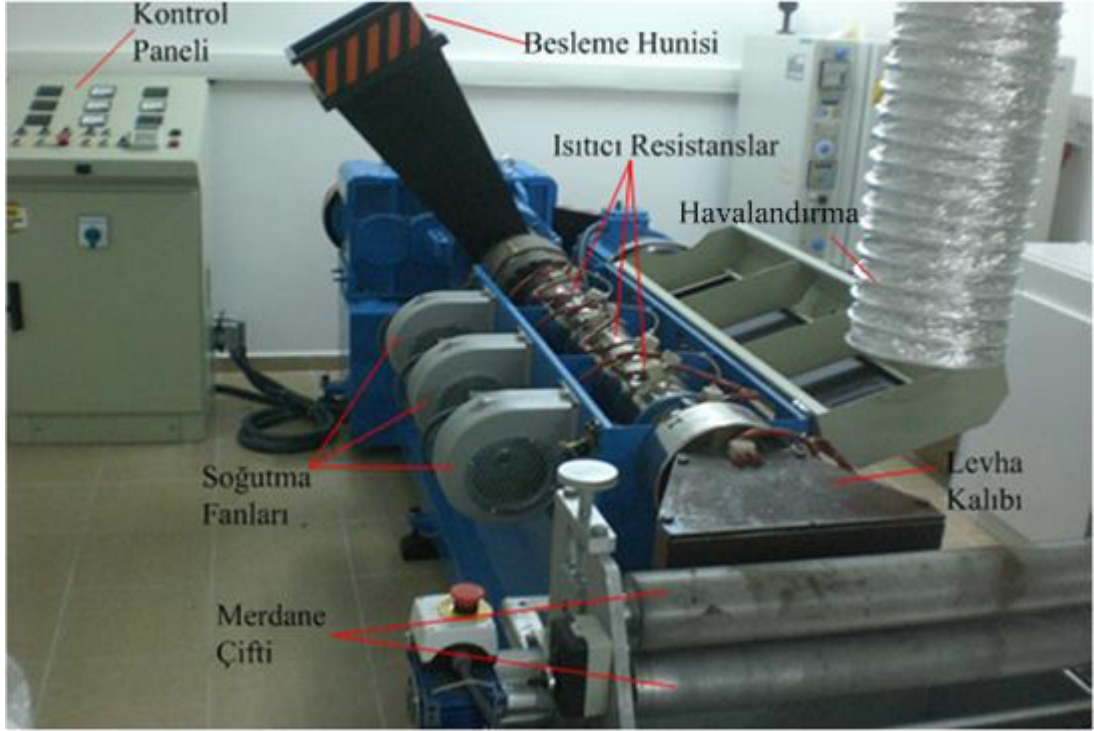
1. Polimeri meydana getiren makromolekül zincirleri kısalmaktadır. Küçük zincir sayısı artar.
2. Daha kısa molekül zincirleri daha kolay kristallenebilen zincirlerin olmasına neden olur.
3. Zincir uzunluğunun azalması polimerin erime ve kaynama noktasını düşürür.
4. Zincir uzunluğunun azalmasıyla polimer malzemenin darbe dayanımı, çekme dayanımı ve tokluğu azalır.
5. Daha kısa molekül zincirlerinin olması akışı hızlandırır ve dolayısıyla viskositeyi azaltır. [32-33]

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Atık Kumaş ile Takviyelendirilen Termoplastik Malzemelerin Ekstrüzyonu

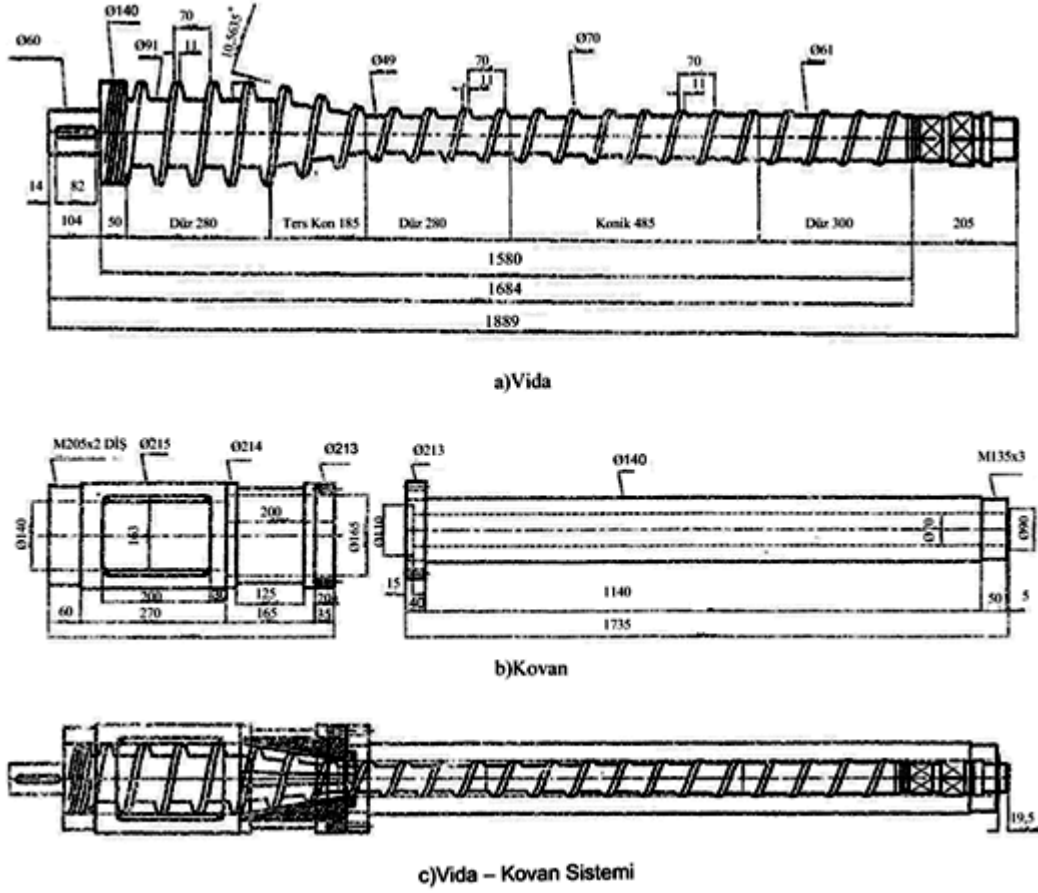
Çalışma kapsamında, tekstil atıkları ile plastiklerin takviyelendirilerek karma yapıların oluşturulması hedeflenmiştir.

Karma yapılar, tek vidalı ekstrüderde termoplastik polimer granülleri ve takviye kumaş kırıntıları kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.1 : Çalışmada kullanılan ekstrüzyon hattı.

Çalışmada kullanılan ekstrüderde kumaşların kovan içerisinde yığılmalarından dolayı herhangi bir tıkanma gerçekleşmemesi için vida – kovan arası boşluk özel olarak tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan vida - kovan sistemi Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2: Vida – Kovan sistemi.

Çalışmada kullanılan ekstrüdere ait teknik özellikler çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Karma malzeme üretimi için kullanılan ekstruderin teknik özellikleri.

Vida Kovan	Ø 70 x 140 kovan vidası
Kovan resistansları	1600W’lık 9 resistans (3bölge şeklinde) ve trifaze fanlar
Ana motor	30kw 1500 d/dak
Vida devri (maks.)	90 d/dak
Levha kalıbı	400 x 8 mm kesit açıklığına sahip levha kalıbı

Çalışmada hacimce %15 ve %7,5 atık kumaş takviyesi içeren karma malzeme yapıların imalatı tek vidalı ekstruder makinesinde gerçekleştirilmiştir. Ekstruder çıkış kısmında levha kalıbı kullanılarak plakaların üretimi sağlanmıştır. Matris malzemesi olarak Petkim’in G03 kodlu alçak yoğunluklu polietilen granülleri kullanılmıştır. Kullanılan polimerlere ait özellikler Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Düşük yoğunluklu G-03 polietilenin özellikleri [14].

Özellikler	Birim	DYPE G03-5
Erime Akış Hızı (MFI)	gr/10 dk.	0.20 – 0.40
Yoğunluk (23 °C)	gr/cm ³	0.919 – 0.923
Şişme Oranı	-	1.41
Erime Sıcaklığı (DSC)	°C	110
Vikat Yumuşama Noktası	°C	98
Akmada Gerilme Dayanımı	MPa	9,5
Kopmada Gerilme Dayanımı	MPa	19
Kopmada Uzama	%	640
Sertlik	Shore D	47
Parlama Sıcaklık	°C	340
Camlaşma Geçiş Sıcaklığı	°C	< -118

Takviye olarak sanayiden alınan pamuklu kumaş atıkları kullanılmıştır. Kumaşlar ekstrüder vida-kovan arasında ve levha kalıbında tıkanma, sarılma vb. problemler oluşmaması açısından gelişigüzel ve küçük boyutlarda kesilmiştir.



a)Saf DYPE G03 granülleri



b)Atık pamuklu kumaş

Şekil 4.3 : Karma malzeme üretiminde kullanılan matris ve takviye elemanı.

Kumaş yığını içerisinde iki farklı kumaş bulunmaktadır. Ağırlıkça oranları %30 ve %70 civarlarındadır.

Çizelge 4.3: Takviye malzemelerinin özellikleri.

Kumaş Türü	Yığındaki oran	Konstrüksiyon	Atkı İpliği # (Ne)	Çözümlü İpliği# (Ne)
Kumaş 1	%70	Bezayağı	30	40
Kumaş 2	%30	Bezayağı	10	20

Ekstruderin kullanım parametre değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Ekstruder levha kalıbından çıkan plaka merdaneler arasından geçirilmiştir. Ardından kalibrasyon amacıyla hidrolik prese yerleştirilip 4 tonluk basınç altında soğutulmuş plaka halini almıştır. Üretilen plaka kalınlıkları 5–7 mm aralığındadır.

Çizelge 4.4 : İmalat değişkenleri.

Malzeme	Isıtıcı 1 (°C)	Isıtıcı2 (°C)	Isıtıcı 3 (°C)	Kalıp Sıcaklığı(°C)	Ekstruder vida hızı (devir/dk)
Takviyesiz PE	185	190	195	200	30
%7,5TG03	165	170	175	180	30
%15TG03	165	170	175	180	30

Üretimin temel aşamaları şu şekildedir:

- Kullanılacak polimer türüne bağlı olarak, ekstruderdeki mevcut 3 ısıtıcının ve kalıbın sıcaklığı ayarlanır ve istenilen sıcaklıklara ulaşılması için yaklaşık 30 - 45dk beklenir. Kontrol panelinde ısıtıcıların ve levha kalıbının sıcaklık kontrolü ile vida ve merdanelerin hız kontrolü yapılabilmektedir.



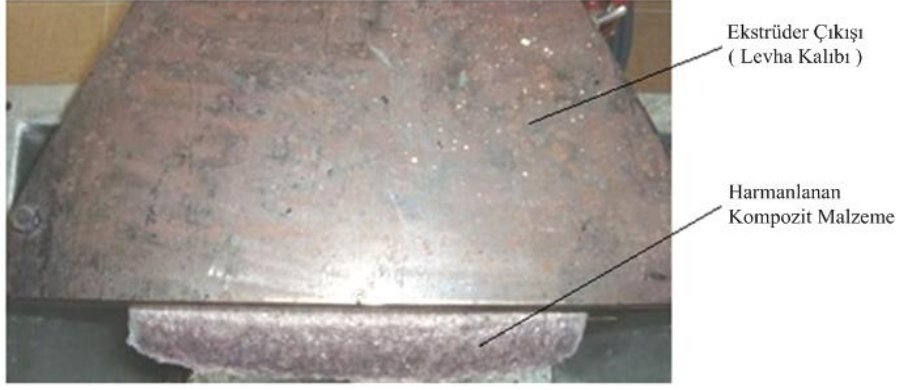
Şekil 4.4: Ekstruder kontrol paneli.

- İstenen takviye hacim oranına göre uygun miktarda kumaş ve polimer granülleri tartılır.
- Daha önceden ayarlanan sıcaklıklara ulaşmış olan ekstrüderin ana motoru çalıştırılarak vidanın dönmeye başlaması sağlanır.
- Kumaş ve polimer granülleri, ekstrüderin baş kısmındaki hazneden elle ayrı ayrı beslenir. Şekil 4.5’de ekstrüder haznesine beslenmiş atık kırıntı kumaş ve plastik granülleri görülmektedir.



Şekil 4.5: Ekstrüder haznesinden malzemelerin beslenmesi.

- Kovan içerisinde vidanın dönme hareketiyle ilerleyen termoplastik granüller elektrikli ısıtıcılardan aldığı ısı ve vida ile kovan arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan ısıyla erir ve böylece kumaş ve eriyik haldeki polimer malzeme harmanlanarak birbirlerine tutunması sağlanır.
- Vidanın ilerleyişiyle, ekstrüder çıkışındaki 8mm yüksekliğinde ve 400 mm genişliğindeki levha kalıbından polimer ve kumaştan oluşan pelte haldeki karma malzeme Şekil 4.6’da görüldüğü gibi dışarı çıkmaya başlar.



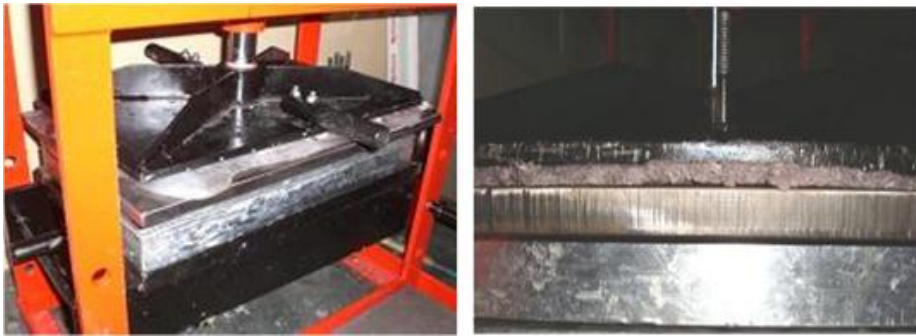
Şekil 4.6: Ekstrüder levha kalıbından malzeme çıkışı.

- Sürekli olarak levha kalıbından dışarı çıkan malzeme, öncelikle hızı ve aralığı ayarlanabilen kalibrasyon merdane çiftleri arasından geçirilir.



Şekil 4.7: Malzemenin merdaneler arasından geçişi.

- Merdaneden geçerek incelen ve yüzeyi düzgünleşen malzeme 50×40cm boyutlarında kesilerek, henüz soğumadan hidrolik prese yerleştirilerek son boyutuna getirilir.



Şekil 4.8: Şekillendirilmek üzere pres altına yerleştirilen plaka.

- Preste malzemeye 4 tonluk bir basınç uygulanarak ve 20 dk beklenerek iki kalıp arasında soğuduktan sonra plakanın son şeklini alması sağlanır. Plakanın basınç altında bekletilmesiyle DYPE’ de görülen ve soğuma esnasında parça kalınlığının değişmesine yol açan “şişme” olayının da önüne geçilir.



Şekil 4.9 : Geri dönüşüm sayılarına bağlı olarak imalat sonrasında elde edilen plakalar.

İlk imalat aşamasında ortaya çıkan malzemeler, daha sonra kademeli olarak gerçekleştirilen kırma (geri dönüşüm) ve ekstrüzyon işlemlerine tabi tutulmaktadır. Şekil 4.9’da görüldüğü gibi, 3 defa geri dönüşüm işleminden sonra çok daha iyi kumaş dağılımına sahip bir malzeme imal edilebilmiştir (Şekil 4.9b ve Şekil 4.9c). Böylece çalışmada malzemelerin geri dönüşebilirlikleri incelenirken aynı zamanda geri dönüşüm işleminin malzemelerin mekanik ve reolojik özellikleri üzerindeki etkileri de incelenebilmiştir.

4.1.1 İmalat değişkenleri

İmalat esnasında plakaların niteliklerini etkileyen birçok değişken bulunmaktadır. Değişkenler imal edilen malzeme türüne göre ayarlanmış olup geri dönüşüm basamağına bakılmaksızın sabit tutulmuştur.

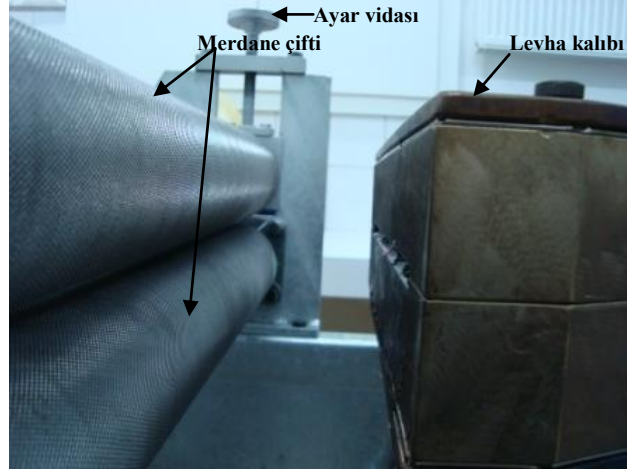
4.1.1.1 Kalınlık kontrolü

Ekstruder çıkışında elde edilen plakaların kalınlıklarına etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır.

- **Ekstruder içi sıcaklıklar:** Ekstruder içi bölgesel sıcaklıklar kullanılan polimer tipine göre değişmektedir. Sınırlar dahilinde kalmak üzere yüksek sıcaklıkların kullanımı malzemenin akışkanlığını arttırmaktadır. Ekstruder çıkışında daha sıcak

olan malzemenin soğuma süresi uzamakta ve şekillendirilme yeteneği artmaktadır.

- **Levha kalıbı aralığı:** Çalışmalarda kullanılan kalıp aralığı sabit olup, 8 mm' dir. Levha kalıp aralığı farklı tutularak plaka kalınlığı değiştirilebilir. Takviye malzemesi olarak kullanılan kumaşların çıkış bölgesinden rahatça geçerek herhangi bir tıkanıklığa sebebiyet vermemesi için aralık çok dar tutulmamaktadır.



Şekil 4.10: Ekstruder levha kalıbı ve merdanenin yandan görünüşü.

- **Merdaneler arası açıklık:** Ekstruder çıkışının ardından pelte halindeki malzeme merdaneler arasından geçirilir. Böylece malzeme hem inceltilir hem de kısmi olarak düzgün bir yüzey elde edilmeye çalışılır. Kalıptan çıkan eriyik, gerekli tedbirlerin alınmaması durumunda polimerin şişmesi sonucu 24 mm'e varan kalınlıklara çıkabilmektedir. Merdaneler arası açıklık 3mm olarak ayarlanmıştır. Çıkışta şişerek kalınlaşan malzeme dönen merdaneler arasına beslenerek bu düşük aralıktan geçirilir. Kumaş takviyeli polimerlerle çalışıldığında, kumaşların topaklandığı kısımlar merdaneler arasında geçemeyebilmektedir. Bu durumda merdane açıklığı her iki uçta bulunan ayar vidaları kullanılarak arttırılabilir. Merdanelerin arasından geçirilen malzeme bir miktar soğumuş ve inceltiştir. Ancak, merdane çıkışında tekrar şişme olayı gerçekleşir ve kalınlık artar. Sonrasında, şişme miktarı soğumanın etkisiyle bir miktar azalır.
- **Merdane hızı:** Ekstruder çıkışında kullanılan merdanelerin dönüş hızı malzeme kalınlığı üzerinde etkilidir. Merdane hızı arttırıldığında malzemenin çekilerek inceltmesi söz konusu olabilmektedir. Ekstruderden çıkan malzemenin hızı dikkate alınarak merdane hızı belirlenir.



a)Yüksek merdane hızı sonucu kopma



b)Düşük merdane hızı sonucu toparlanma

Şekil 4.11: Merdane hızının etkisi.

- **Pres basıncı:** Merdaneler arasından geçen malzemenin düzgün bir yüzeye sahip olabilmesi ve kalınlığının belli yüksekliklere indirebilmesi için hidrolik pres yardımıyla basma işlemi gerçekleştirilmektedir. Malzeme henüz soğumadan pres altına yerleştirilmekte ve çeşitli tonlarda ağırlık uygulanarak düzgünleştirilmekte ve inceltilmektedir. Henüz soğumamış olan karma malzeme basınç etkisiyle şekillendirilmektedir.

4.1.1.2 Takviye Yönlenmesi ve Oranı

Takviye malzemesi olarak kullanılan atık kumaşların ekstruder vidası boyunca izledikleri yol sonunda polimer matris içerisinde rastgele bir dağılıma sahiptir. Kumaş boyutu, kumaş doku özellikleri, besleme düzgünlüğü gibi çeşitli değişkenler dağılımı üzerinde etkilidir.

Takviye malzemesinin düzgün dağılımını sağlayan en önemli işlem malzemenin kırılarak tekrar işlenmesidir. Bu işlem sayesinde kumaş boyutları küçülmekte ve kumaş iplik ve lif boyuna indirgenmektedir. Bunun yanı sıra plastik ve takviye tekrarlı işlemler sayesinde daha homojen bir harman oluşturmaktadır.

4.2 Geri Dönüşüm İşlemi

Çalışmada geri dönüşüm işlemi imal edilen plakaların kırıcı makinesinde (granülatör) granül haline getirilip tekrar plaka üretiminde kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Geri dönüşüm işleminden önce plakalar herhangi bir yaşlandırma işlemine maruz bırakılmamıştır. Üretilen malzemelerin geri dönüşüm işlemlerinin temel aşamaları şu şekilde gerçekleştirilmektedir:

- Üretilen plakalardan geri dönüştürülmek üzere ayrılan parçalar öncelikle giyotinle, plastik kırma makinesine (granülatör) uygun boyutlarda kesilirler.



Şekil 4.12: Kırma işlemi.

- Kesilen parçalar plastik kırma makinesine atılarak bıçaklar sayesinde şekil 4.12b’de görüldüğü gibi küçük granüller haline getirilir.
- Mekanik olarak kırılarak geri dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiş granüller tekrar ekstrüdere beslenerek yeni plakaların üretimi sağlanmaktadır.



Şekil 4.13: Takviyeli plastik granülleri

- Aynı işlemler üretilen her plakaya tekrar uygulanarak farklı kırım sayılarında plakalar üretilmiştir.

Çalışmanın birinci aşamasında ağırlıksal oranlar göz önünde bulundurularak polimer granülleri ve kumaş parçaları tartılır ve ekstrüdere beslenir. Birinci aşamada

ekstruderden elde edilen malzemelerde kumaşlar belirgin olarak plastik matris içerisinde görülmektedir.



Şekil 4.14: Birinci aşamada üretilen plaka (kırılmamış)

Çalışmanın sonraki aşamasında üretilen takviyeli plastikler giyotinle parçalanıp, sonrasında kırıcı ile granül haline getirilir. Aynı işlem üretilen her yeni plaka için tekrarlanarak, farklı kırma sayılarına sahip plakalar oluşturulmaktadır.

1. kırım sonrası elde edilen granüllerde, kumaşların bir kısmının parçalandığı ve plastikten ayırık olarak duran iplikler saçakları bulunduğu görülür. Aynı zamanda neredeyse hiç takviye içermeyen plastik parçalarının mevcut olduğu da görülmüştür.
2. kırım sonrası parçalanmamış kumaş miktarı düşerken, plastik ve takviyeler arasındaki yapışmanın arttığı görülmüştür. Serbest halde duran lif-iplik ve kumaş miktarları da düşmüştür.
3. kırım sonrası kumaş parçaları yok denecek kadar az görülürken, daha homojen granüller oluştuğu görülmüştür.
4. kırım sonrası takviye yapısı ve dağılımı açısından gözle görülebilir pek fark bulunmamaktadır.
5. ve 6. kırım granüllerinde artık ipliklerin tümü lif haline gelmiş olup, plastik granülleri ile iç içe geçmiş bir yapı oluşmuştur.

Özetle çalışma sırasında gerçekleştirilen imalat ve geri dönüşüm basamaklarını Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



1.kırım kompozit granülleri



2.kırım kompozit granülleri



3.kırım kompozit granülleri



4.kırım kompozit granülleri



5.kırım kompozit granülleri



6.kırım kompozit granülleri

Şekil 4.15 : Kırma işlemleri sonrası elde edilen karma malzeme granülleri ($\times 2.0$).



Üretim ve Geri Dönüşüm Çevrimi

- | | |
|---------------------------------|-------------------------|
| 1) Ekstrüzyon | 4) Numune Kesimi |
| 2) Merdaneler Arasından Geçirme | 5) Testler ve Analizler |
| 3) Presleme | 6) Kırma (Geri Dönüşüm) |

Şekil 4.16 : İmalat ve geri dönüşüm basamakları.

5. SONUÇLAR

5.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Malzemelerin çekme deneyi ASTM D638-08 standardına uygun olarak Shimadzu AG-IS çekme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numune boyutları, numune kalınlıklarının 7 mm ve altında değerlerde olması sebebiyle ilgili standarttaki “tip 1” göre belirlenmiştir. Deneylerde her bir malzeme türü için en az 5 adet numune kullanılmıştır. Çekme deneyi ile beraber malzemenin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri elde edilmiştir. Çekme deneyi oda sıcaklığında gerçekleştirilip, şekil değiştirme hızı olarak 50 mm/dk olarak ayarlanmıştır.

Boyutlar	Tip 1- uzunluklar (mm)
W – dar bölümün eni	13 (0,50)
L- dar bölümün uzunluğu	57 (2,25)
WO= toplam genişlik	19 (0,75)
LO- toplam uzunluk	165 (6,5)
Ölçüm uzunluğu	50 (2,00)
D- saplar arası mesafe	115 (4,5)
R- bant yarıçapı	76 (3,00)

Şekil 5.1: Çekme deneyi test numunesi ve boyutları.

Çalışmada saf (takviyesiz) düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) G-03 ve hacimsel olarak %7,5 ve %15 oranında pamuklu kumaş takviyeli karma malzemeler üretilmiştir. Her üç grup malzeme de tekrarlı olarak 6 kez ekstrüzyon işleminden geçirilmiştir.

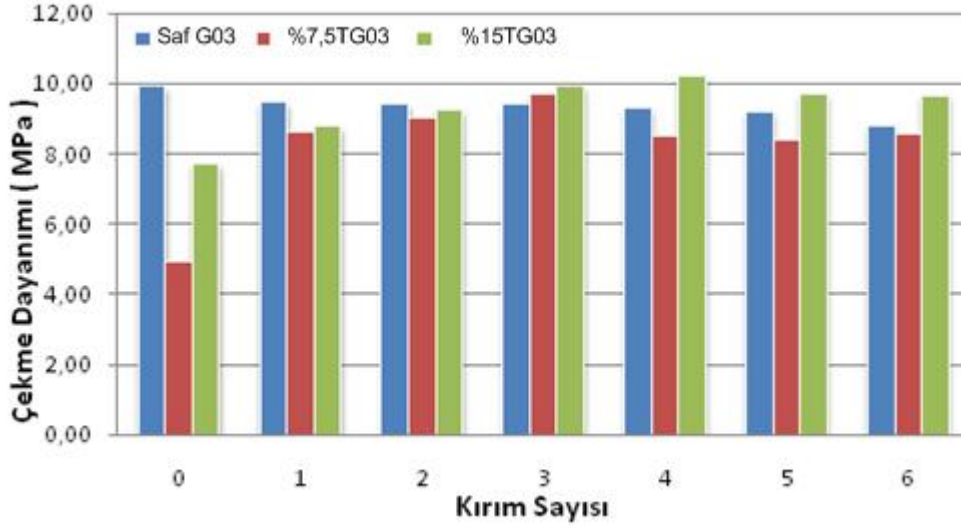


Şekil 5.2 : Çekme numunesi.

Her ekstruzyon işleminin sonrasında oluşturulan plakalardan elde edilen numunelere ait ortalama çekme dayanımı (Ç.D) ve elastiklik modülü (E) değerleri ve standart sapma oranları (Sigma) Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Geri dönüşüm basamağına göre karma malzeme ve saf DYPE çekme dayanımı (σ_c) - elastiklik modülü (E) değerleri.

Malzeme Türü	Kırım Sayısı	σ_c (MPa)	σ_c Sigma(%)	E (MPa)	E Sigma (%)
DYPE G03 (Literatür)	-	7-16	-	200-500	-
Kırılmamış Saf G03	0	9,91	2,24	218	16,90
Saf G03 1.kırım	1	9,45	3,30	216	10,00
Saf G03 2.kırım	2	9,43	2,00	268	7,10
Saf G03 3.kırım	3	9,41	0,50	325	11,00
Saf G03 4.kırım	4	9,29	4,00	316	10,00
Saf G03 5.kırım	5	9,18	1,00	312	11,80
Saf G03 6.kırım	6	8,80	2,00	224	14,70
Kırılmamış %7,5TG03	0	4,92	5,80	180	15,00
%7,5TG03 1.kırım	1	8,60	4,00	334	12,00
%7,5TG032.kırım	2	9,01	2,00	367	9,00
%7,5TG033.kırım	3	9,69	2,00	437	11,50
%7,5TG034.kırım	4	8,50	5,00	436	13,50
%7,5TG03 5.kırım	5	8,40	5,80	360	5,80
%7,5TG03 6.kırım	6	8,55	1,17	352	7,10
Kırılmamış %15TG03	0	7,70	13,00	353	9,00
%15TG03 1.kırım	1	8,77	4,00	381	14,0
%15TG03 2.kırım	2	9,26	3,39	421	7,30
%15TG03 3.kırım	3	9,92	11,60	463	4,00
%15TG03 4.kırım	4	10,20	2,40	466	6,80
%15TG03 5.kırım	5	9,71	5,00	436	10,00
%15TG03 6.kırım	6	9,67	1,70	395	8,60

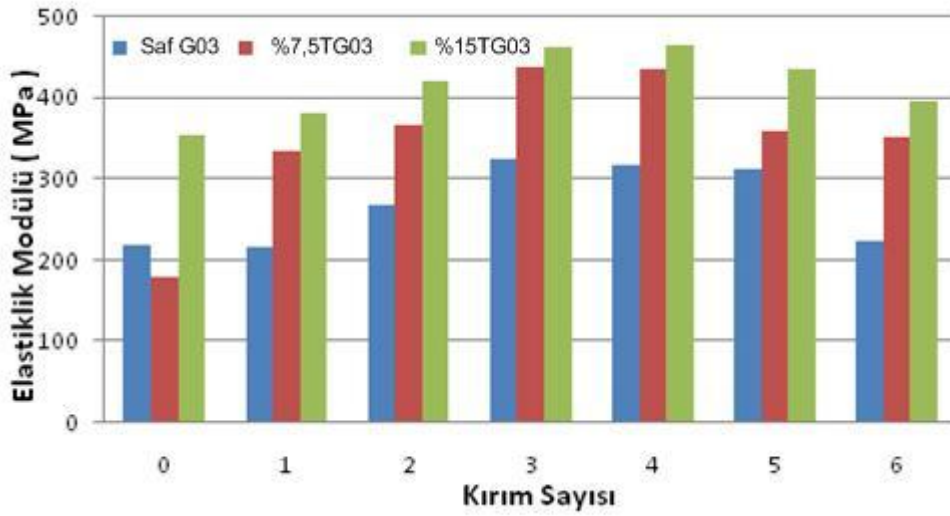


Şekil 5.3: Çekme dayanımının geri dönüşüm (kırım) basamağına göre değişimi.

Şekil 5.3’de görüldüğü üzere %7,5 ve %15 pamuklu kumaş takviyeli karma malzemelerin herhangi bir kırma işlemine uğramamış numunelerinde elde edilen çekme dayanımı takviyesiz saf G03 çekme dayanımına göre oldukça düşük kalmıştır. Kırma işlemine uğramamış %7,5T G03 karma malzemesinin çekme dayanımında 1.kırım sonrasında %72 artış gösterirken 3. kırım işlemine kadar takviye malzemesinin dağılımının homojenleşmesiyle beraber sürekli bir artış elde edilmiştir. Devam eden kırma işlemleriyle beraber çekme dayanımında çok az düşüş görülmüştür. %15 takviye oranına sahip karma malzemenin çekme dayanımında 1.kırım sonrasında %13 artış sağlanmış, 4.kırım sonrasında %32’lik artış olmuştur. %15T G03 karma malzemenin 4.kırım sonrasında çekme dayanımı 6.kırım sonrasında %4 azalmıştır. Geri dönüşüm işlemiyle beraber karma malzemelerde çekme dayanımdaki iyileşmenin bir diğer sebebi ise takviye malzemesi ile matris faz olan G03 malzemesi arasındaki ara yüzey tutunma olasılığının artmasıdır. Takviyesiz saf G03 malzemesinin geri dönüşümle beraber çekme dayanımında düşüş eğilimi görülmektedir. Bu düşüşün nedeni olarak polimer zincir uzunluklarının geri dönüşüm işlemiyle beraber kısalması gösterilmektedir [24]. Genel olarak DYPE malzeme polimer zincir uzunluğu azaldıkça malzeme dayanımı azalır ve zincirlerin birbirleri üzerinde kaymaları daha kolaylaşır [24]. MFI ölçüm sonuçlarından polimer zincirlerinin geri dönüşümle kısaldığı anlaşılmıştır (Çizelge 5.5).

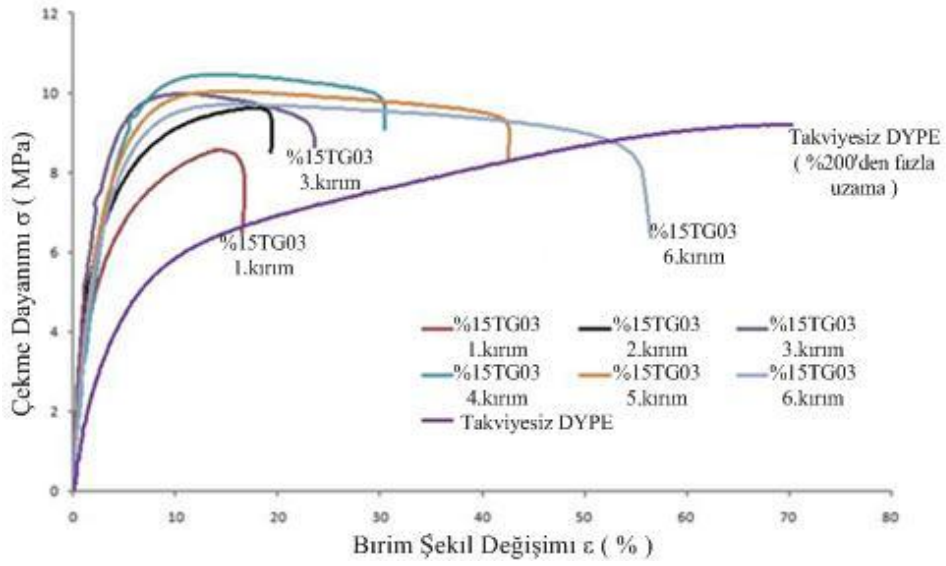
Şekil 5.4’ e bakıldığında yapılan çekme deneyinden elde edilen elastiklik modülü sonuçları verilmiştir. Buna göre saf G03, %7,5 ve %15 pamuklu kumaş takviyeli

karma malzemelerin elastiklik modülünde 4. kırıma kadar artış elde edildiği görülmektedir. Elastiklik modülü her üç malzeme çeşidi için 4.kırımdan sonraki geri dönüşüm basamaklarıyla beraber azalış gözlenmektedir. Takviyesiz DYPE'nin 6. kırım sonrasında elastiklik modülü %2, %7,5TG03 karma malzeme için %5, %15TG03 için ise %10 artmaktadır. Kırma işlemiyle elastiklik modülündeki artışın sebebi, geri dönüşüm sonucu çapraz bağ oluşumunu ve polimer zincirlerin dallanmasını sağlayan radikallerin başlattıkları reaksiyonların bir yansıması ve bunun sonucunda daha rijit bir yapının ortaya çıkması olarak yorumlanmaktadır [13].



Şekil 5.4: Elastiklik modülünün geri dönüşüm basamağına göre değişimi.

Şekil 5.5'de %15 atık kumaş takviyeli karma malzemenin geri dönüşüm basamaklarına göre gerilme – birim şekil değişim (σ - ϵ) eğrileri bulunmaktadır. Eğriler incelendiğinde kopma uzaması değerlerinin karma malzeme geri dönüştürüldükçe liflerin kısılması ve polimer fazın daha etken olmasıyla arttığı görülebilmektedir.



Şekil 5.5 : %15TG03 karma malzemenin σ - ϵ eğrileri.

5.2 Darbe Deneyi Sonuçları

Malzemelerin darbe testleri EN ISO 179: 1997 standardına uygun olarak “Devotrans Charpy” darbe deney cihazı kullanılarak yapılmıştır. Test numuneleri ilgili standartta belirtilen boyutlarda imal edilmiş olup çekiç hızı olarak 3,8 m/s’dir. Numunelere “tip A” çentiği açılmıştır. 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 (5.1).

Darbe Dayanım Formülü:

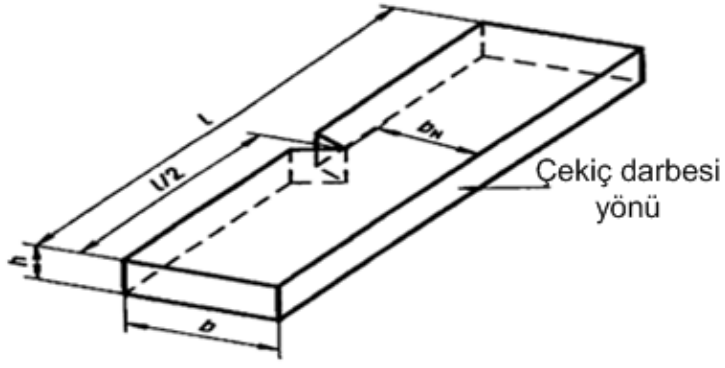
$$a_{cN} = \frac{Wx10^3}{hxb_N} \quad (5.1)$$

a_{cN} : Darbe Dayanımı (Kj/m^2)

W : Kırılma Enerjisi (J)

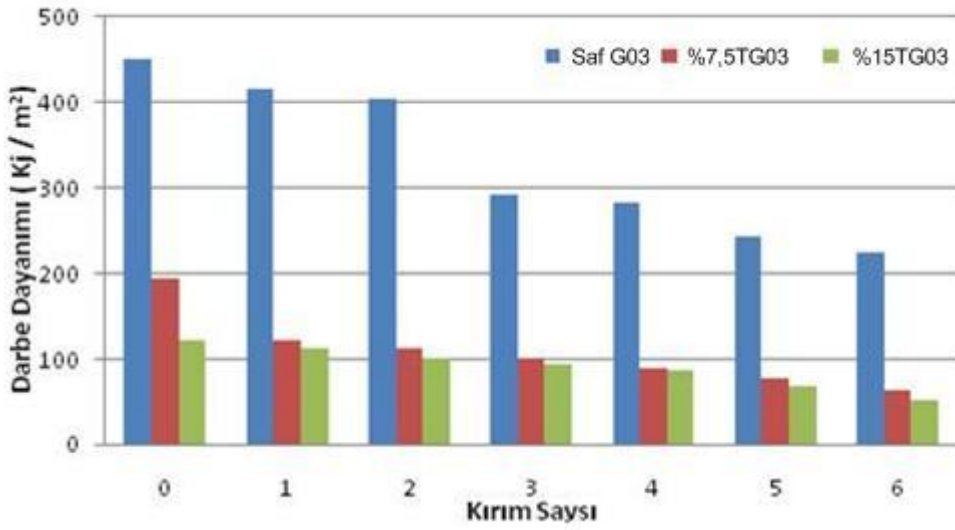
h : Malzeme Kalınlığı (mm)

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



Şekil 5.6 : Darbe Deney Numunesi.

Şekil 5,7’de darbe dayanımının her 3 malzeme türü için geri dönüşüm işlemleri sonucunda azaldığı gözlenmektedir. Saf plastiğin darbe dayanım değerleri tüm kırılmalar için takviyeli karma malzemelerinden yaklaşık 3 kat daha fazladır. Şekil 5,7’de ayrıca, kumaş oranının artmasıyla darbe dayanımının daha düştüğü anlaşılmaktadır. Geri dönüşüm işlemiyle darbe dayanımındaki azalmanın sebebi termo mekanik bozulmayla birlikte polimer zincirlerinin ayrışması, dolayısıyla mekanik ve plastiklik özelliklerin azalması olarak gösterilmektedir [24].



Şekil 5.7 : Geri dönüşüm basamağına göre darbe dayanımı değişimi.

Çizelge 5.2 : Geri dönüşüm basamağına göre darbe dayanım değerleri.

Malzeme Türü	Kırım Sayısı	Darbe Dayanımı (KJ/m²)	D. Dayanımı Sigma (%)
Kırılmamış DYPE G03	0	450	2,60
Saf AYPE G03 1.Kırım	1	415	5,20
Saf AYPE G03 2.Kırım	2	404	7,92
Saf AYPE G03 3.Kırım	3	291	13,00
Saf AYPE G03 4.Kırım	4	283	7,40
Saf AYPE G03 5.Kırım	5	243	14,00
Saf AYPE G03 6.Kırım	6	224	5,00
Kırılmamış%7,5TG03	0	194	6,70
%7,5TG03 1.kırım	1	121	9,40
%7,5TG03 2.kırım	2	112	9,00
%7,5TG03 3.kırım	3	100	9,50
%7,5TG03 4.kırım	4	90	5,97
%7,5TG03 5.kırım	5	78	11,40
%7,5TG03 6.kırım	6	64	9,50
Kırılmamış %15TG03	0	122	8,30
%15TG03 1.kırım	1	113	8,40
%15TG03 2.kırım	2	101	4,10
%15TG03 3.kırım	3	93	13,00
%15TG03 4.kırım	4	86	5,79
%15TG03 5.kırım	5	69	7,40
%15TG03 6.kırım	6	52	7,50

5.3 Sertlik Ölçüm Sonuçları

Çalışmada sertlik ölçümleri ASTM D 2240 – 05 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm için standartlarda belirtildiği gibi sert lastikler, termoplastik elastomerler ve rijit termoplastikler için tercih edilen Shore D ölçüm cihazı kullanılmıştır. Her bir geri dönüşüm işleminden sonra elde edilen numunelerden en az 10 ölçüm yapılarak sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Ölçümler Şekil 5.8’ de görülen Shore D sertlik ölçme aleti ile elle kuvvet uygulayarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin doğru olması için dikkat edilmesi gereken husus sertlik ölçme aletinin alt yüzeyi ile malzeme yüzeyinin tamamen yatay olarak birleşmesidir. Bu husus tüm ölçümlerde dikkate alınmıştır.



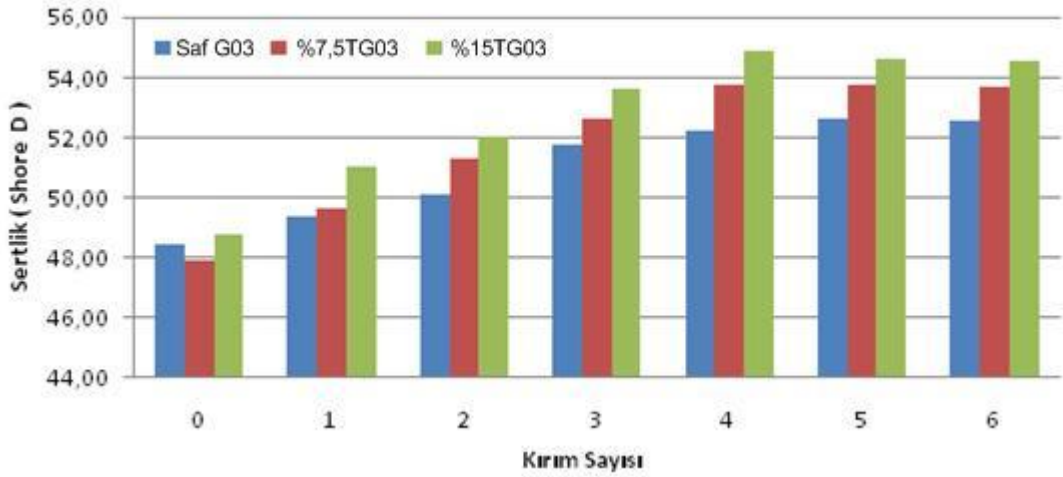
Şekil 5.8 : Shore D sertlik ölçme aleti.

Çizelge 5.3 : Karma malzemelerin kırma basamağına göre sertlik değerleri.

Malzeme Türü	Kırım Sayısı	Sertlik (Shore D)	Sertlik Sigma (%)
Kırılmamış AYPE G03	0	48,46	1,60%
Saf G03 1.Kırım	1	49,38	2,40%
Saf G03 2.Kırım	2	50,1	2,37%
Saf G03 3.Kırım	3	51,74	1,60%
Saf G03 4.Kırım	4	52,2	1,60%
Saf G03 5.Kırım	5	52,6	2,10
Saf G03 6.Kırım	6	52,53	1,58
Kırılmamış %7,5TG03	0	47,93	3,00%
%7,5TG03 1.Kırım	1	49,6	2,30%

Malzeme Türü	Kırım Sayısı	Sertlik (Shore D)	Sertlik Sigma (%)
%7,5TG03 2.Kırım	2	51,27	2,30%
%7,5TG03 3.Kırım	3	52,6	1,59%
%7,5TG03 4.Kırım	4	53,76	2,30%
%7,5TG03 5.Kırım	5	53,76	2,48%
%7,5TG03 6.Kırım	6	53,66	1,90%
Kırılmamış %15TG03	0	48,75	3,40%
%15TG03 1. Kırım	1	51	2,80%
%15TG03 2. Kırım	2	52	1,78%
%15TG03 3. Kırım	3	53,6	1,79%
%15TG03 4. Kırım	4	54,88	2,65%
%15TG03 5. Kırım	5	54,62	2,78%
%15TG03 6. Kırım	6	54,53	1,8%

Çizelge 5.3' de her bir geri dönüşüm basamağından sonra elde edilen numunelerin Shore D cinsinden sertlik değerleri görülmektedir.

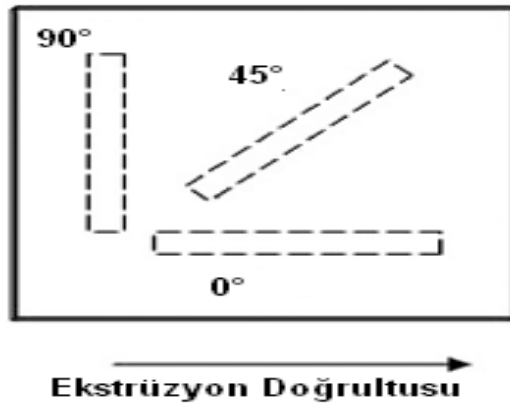


Şekil 5.9 : Geri dönüşüm basamağına göre sertlik değerleri değişimi.

Sertlik değerlerinin geri dönüşümle beraber artışının sebebi olarak malzemenin tekrar işlenmesi sırasında oluşan radikallerin, zincirlerde çapraz bağlanma veya dallanmaya sebep olması ve dolayısıyla malzemenin sertleşmesine neden olduğu söylenebilmektedir [2].

5.4 Mekanik özelliklerin yöne bağlı olarak değişimi

Çalışmada aynı zamanda %7,5T ve %15T G03 karma malzemesinin çekme dayanımının yöne bağlı olarak değişimi de incelenmiştir. Yön olarak 0° ekstrüzyon doğrultusunu belirtirken 90° ise ekstrüzyon doğrultusunun dik kesen yönü belirtmektedir (Şekil 5.10).Yapılan çekme deneyleri sonucu çekme dayanımında farkedilebilir bir fark olmasına rağmen elastiklik modülünde bu fark bütün kırılmalar için görülememiştir. Şekil 5.12'de 3.kırım sonucu elde edilen yönlerle bağlı olarak çekme dayanımı değişimi görülmektedir.

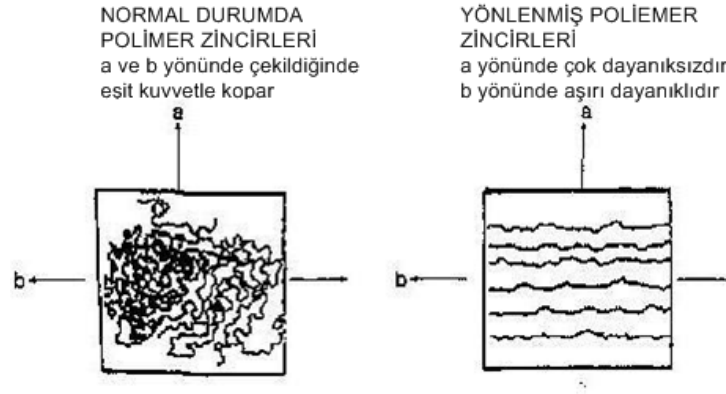


Şekil 5.10 : Ekstrüzyon doğrultuları

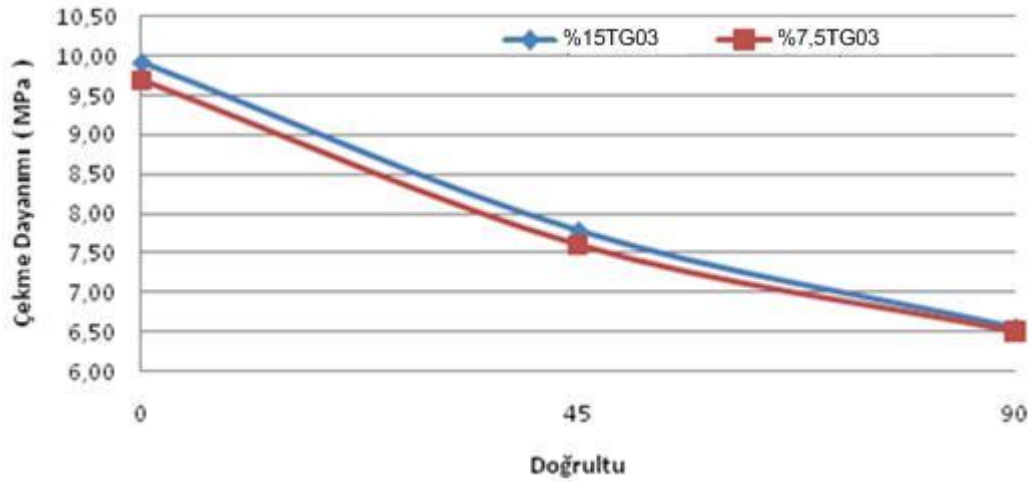
Yapılan çalışmalar sonucunda merdaneden geçirilmiş olan DYPE malzemelerinin akma dayanımının hadde doğrultusunda daha fazla olduğu ve hadde yönüne dik doğrultuda ise gevrek kırılmanın gerçekleştiği görülmüştür. Dayanım değerlerinin hadde yönünde daha fazla olmasının sebebi ise akışkan haldeki soğumamış polimer moleküllerinin hadde yönünde yönlenmesinin ardından soğuyarak moleküllerin yönlenmiş bir şekilde kalmasıdır. Dayanım değerlerinin karma malzemelerde yöne bağlı olarak değişmesinin liflerin yönlenmesinden ziyade matris malzemesi olan DYPE zincirlerinin ekstrüzyon doğrultusunda yönlenmesinden kaynaklanmaktadır [24].

Çizelge 5.4 : Karma malzemelerin 3. Kırım sonrası çekme dayanım değerleri (5 deney ortalaması alındı).

Malzeme	Takviye oranı (%)	Yön	Kırım	Çekme Dayanımı (MPa)
%15TG03	%15	0°	3.	9,92
%15TG03	%15	45°	3.	7,78
%15TG03	%15	90°	3.	6,55
%7,5TG03	%7,5	0°	3.	9,70
%7,5TG03	%7,5	45°	3.	7,60
%7,5TG03	%7,5	90°	3.	6,50



Şekil 5.11 : Polimer zincirlerinin yönlenmesi [24].



Şekil 5.12 : Çekme dayanımının yöne bağlı olarak değişimi

5.5 MFI (Erime Akış Hızı) analizi

Çalışmada geri dönüşüm işleminin %7,5, %15 ve saf düşük yoğunluklu DYPE malzemenin 3. ve 6. kırım numunelerinin akışkanlık özellikleri üzerine etkileri de incelenmiştir. Numunelerin Erime İndeksi ölçümleri ASTM 1238-04c standardına göre Thermo Haake marka erime indeksi ölçüm aleti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sıcaklığı olarak her iki ısıtıcı 190°C'ye ayarlanmıştır. Eriyen malzemenin akışını sağlamak için 1,836 kg ağırlığındaki piston kullanılmıştır. Her numune için 3 ölçüm yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.

MFI ölçümlerinde elde edilen sonuçlara göre takviye oranın artmasıyla beraber %15T G-03' ün %7,5T G-03 malzemeye göre daha az akışkan olduğu görülmüştür. Bir başka sonuç ise geri dönüşüm ile beraber lif boylarının kısılmasıyla akışkanlığın artışı her iki takviye oranındaki malzemenin 3. ve 6. Kırımındaki MFI artışı ile açıklanabilmektedir. Saf DYPE G03 malzemesi için MFI artışının sebebi olarak polimer malzemedeki bağların geri dönüşüm ile beraber bağların kopması ve akışın daha rahat bir şekilde sağlanması gösterilmektedir.

MFI ölçüm sonuçları Çizelge 5.5'de görülmektedir.



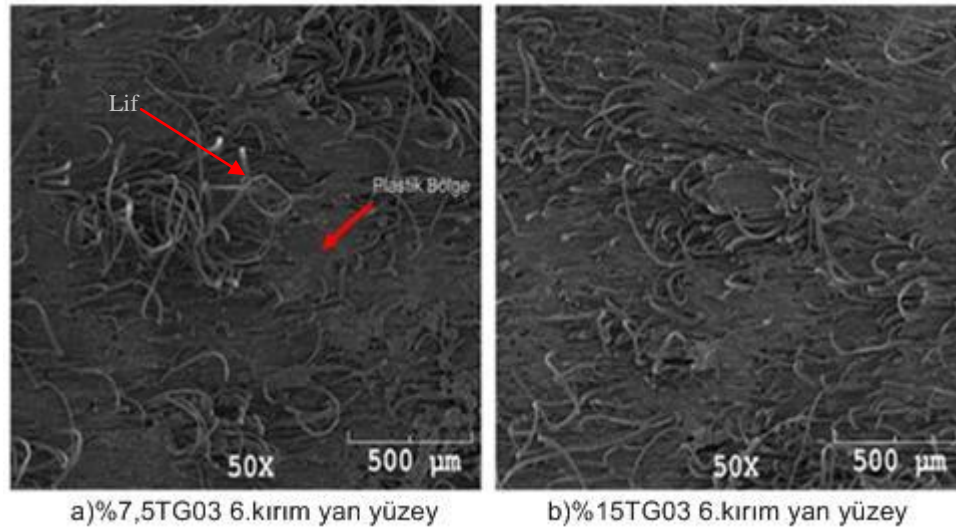
Şekil 5.13 : Thermo Haake marka MFI ölçüm aleti

Çizelge 5.5: MFI ölçüm değerleri

Malzeme	MFI değeri (gr /10dk)	Standard Sapma Oranı (%)	% Değişim
Saf DYPE G03 3.kırım	0,14	0,73	
Saf DYPE G03 6.kırım	0,16	4,24	+13,38
%7,5 T G-03 3.Kırım	0,09	0,82	
%7,5 T G-03 6.Kırım	0,10	0,44	+10,27
%15 T G-03 3.Kırım	0,04	0,79	
%15 T G-03 6.Kırım	0,06	0,10	+44,75

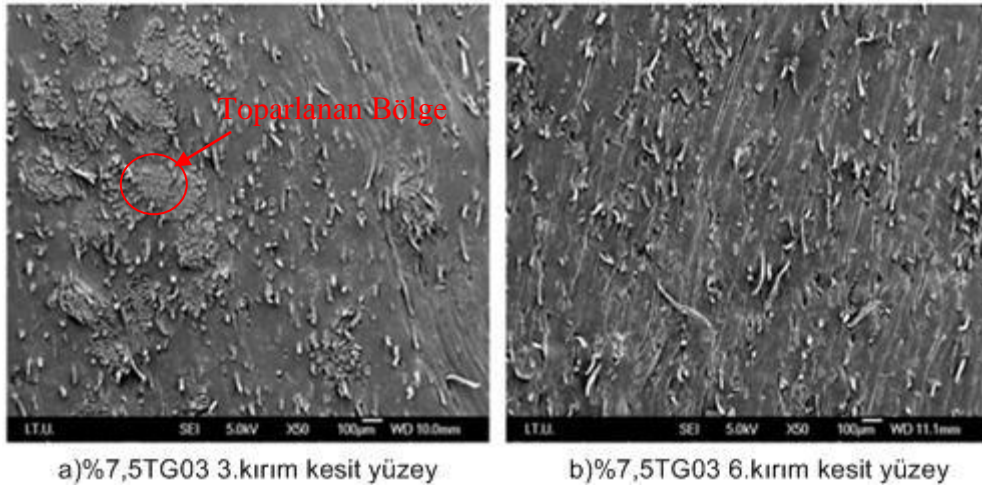
5.6 Sem Görüntüleri

Çalışmada geri dönüşüm işleminin karma malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için kopma yüzeyi, kesit yüzeyi ve yan yüzeylerden farklı büyütmelelerdeki SEM (Tarayıcı Elektron Mikroskobu) görüntüleri elde edilmiştir. Bu görüntüler sayesinde liflerin ve ipliklerin DYPE ile etkileşimi ve tutunabilirliği hakkında daha rahat fikir elde edilmiştir.



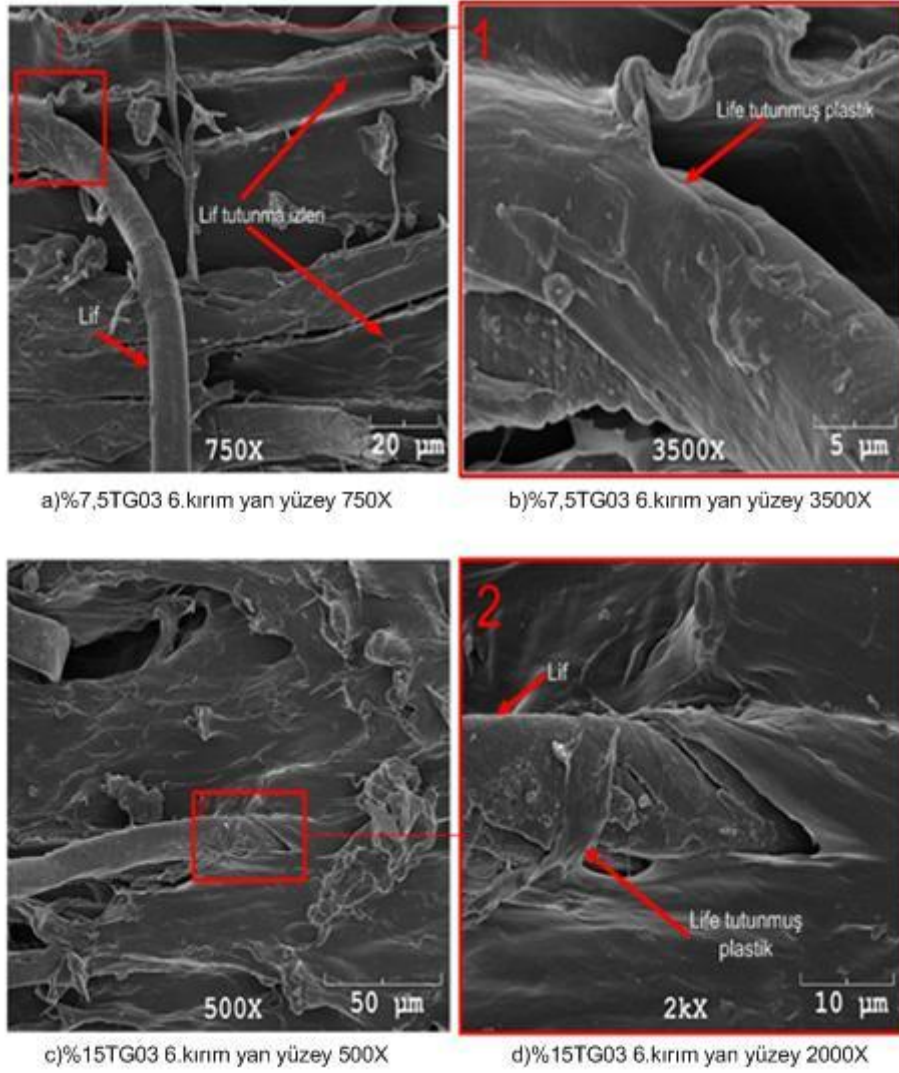
Şekil 5.14 : Karma malzemelerin yan yüzey görüntüleri

Şekil 5.14’de plastik bölge yoğunluğu %7,5T G03 karma malzemenin%15T G03 malzemeye oranla çok daha fazla olduğu görülebilmektedir.



Şekil 5.15 : Karma malzemelerin kesit yüzey görüntüleri.

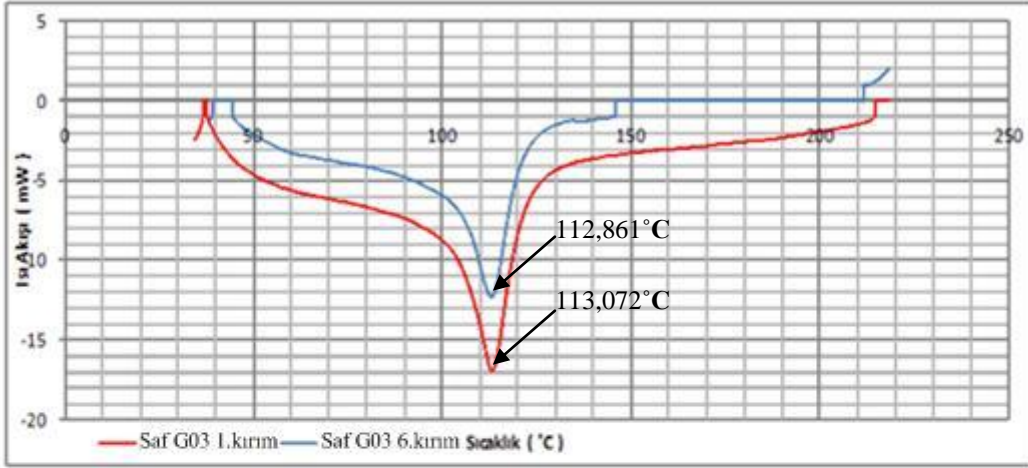
Karma malzeme imalatında ilk katıldığında kumaş halinde bulunan takviyeler geri dönüşümle beraber öncelikle iplik ve daha sonraki geri dönüşüm (kırım) basamaklarında artık lif halini almıştır. Şekil 5.15a'ya bakıldığında, %7,5 takviyeli karma malzemenin 3.kırımını için ipler toparlanmış biçim de görülürken, Şekil 5.15b'de ise aynı takviye oranına sahip karma malzemenin 6.kırım sonunda iplerin artık liflere dönüştüğü ve herhangi bir toparlanma olayının olmadığı gözlenmektedir. İpliklerin liflere dönüşümüyle beraber plastik-lif tutunma yüzey alanı daha fazlaşmakta ve böylelikle mekanik özelliklerde kırım sayısı ile beraber iyileşme elde edilmektedir. Şekil 5.16'dan plastiğin yük altında life tutunduğu anlaşılmaktadır.



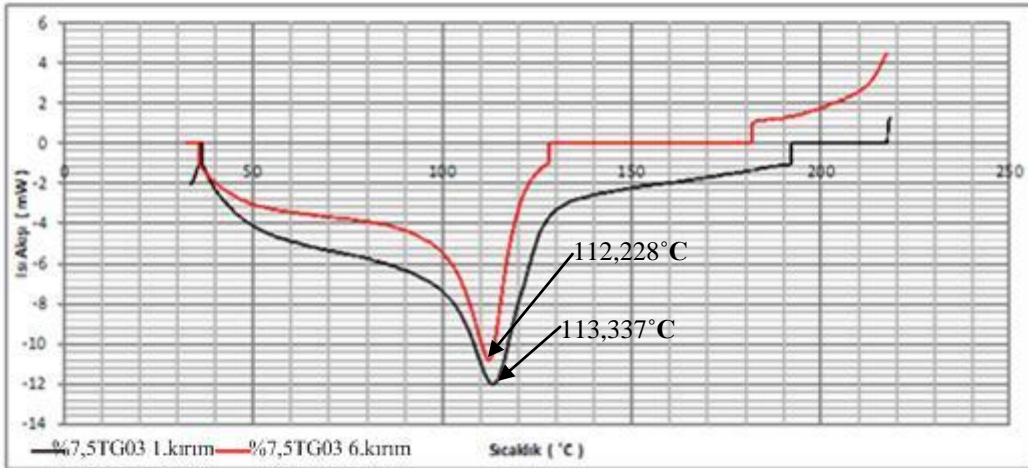
Şekil 5.16 : Plastik – Lif tutunma durumu.

5.7 DSC Analizi

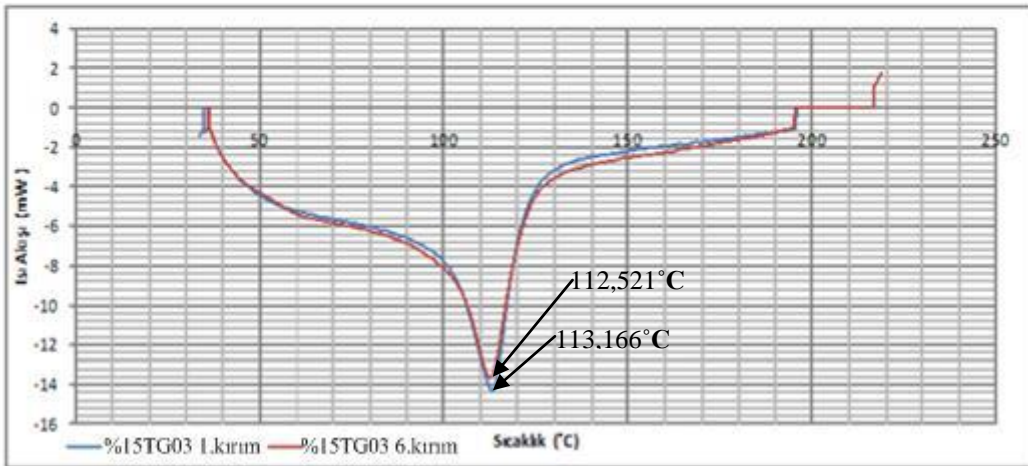
Çalışmada ayrıca geri dönüşüm işleminin saf DYPE G03 ve her iki karma malzeme türünün erime noktasına etkisi 1. ve 6. kırım sonrası için DSC analizi gerçekleştirilerek bulunmuştur. Sıcaklık aralığı 30 – 225°C, sıcaklık artış hızı ise 10°C/dk olarak ayarlanmıştır. Analiz azot atmosferi altında gerçekleştirilmiş olup, 6-8 mg ağırlığındaki numuneler kullanılmıştır. Şekil 5.17’de saf DYPE G03, ve karma malzemelerin 1.ve 6. geri dönüşüm işleminden sonraki DSC eğrileri görülmektedir.



a)Saf DYPE G03



b)%7,5T G03



c)%15T G03

Şekil 5.17 : DSC eğrileri

Çizelge 5.6 : DSC değerleri

Malzeme Türü	T_e(°C)
Saf DYPE G03 1.kırım	113,072
Saf DYPE G03 6.kırım	112,861
%7,5TG03 1.kırım	113,337
%7,5TG03 6.kırım	112,228
%15TG03 1.kırım	113,166
%15TG03 6.kırım	112,521

Çizelge 5.6'da anlaşılacağı üzere geri dönüşüm işlemiyle beraber her üç malzeme türü için T_e(°C) erime sıcaklık değerleri oldukça az değişim göstermiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma boyunca gerçekleştirilen deneyler ve analizler sonrasında elde edilen sonuçları şu şekilde sıralanabilir:

1. Herhangi bir kırma işlemine uğramamış karma malzemelerde nispeten büyük kumaş parçacıklarının belli bölgelerde toplanması dayanım değerlerinin oldukça düşmesine neden olmuştur.
2. SEM görüntüleri incelendiğinde polietilenin pamuklu kumaş liflerini ıslatabilme kabiliyetinin (bağdaşıklık – tutunma) olduğu gözlenmektedir.
3. Geri dönüşüm işlemi boyunca MFI ölçümlerinden anlaşılacağı üzere malzemenin akıcılığında artış olmaktadır.
4. Her iki takviye oranına sahip karma malzemelerde geri dönüşümle beraber lif dağılımının iyileşmesi görülmüştür.
5. Ekstrüzyon yönteminin bir sonucu olarak gerek saf DYPE G03, gerekse karma malzemelerde yöne bağlı olarak dayanımın değişmektedir. Buna göre dayanım değerleri en fazla ekstrüzyon doğrultusunda olduğu görülmüştür.
6. Kumaş takviyelerinin matris fazı olan DYPE G03 malzemenin darbe dayanım değerlerini oldukça düşürmüştür. Geri dönüşümle beraber darbe dayanımında sürekli düşüş elde edilmiştir.
7. DYPE G03 içine katılan kumaş takviyesi polimer malzemenin sertlik değerinin artmasına neden olmuştur. Geri dönüşüm işlemi hem saf DYPE G03 'ün, hem de karma malzemelerin sertliğini sürekli olarak arttırmıştır.
8. Gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları doğrultusunda optimum dayanım değerleri %7,5TG03 için 3.kırımında, %15TG03 için 4.kırımında elde edilmiştir.
9. Özetle DYPE malzemesine atık kumaşların değerlendirmek amacıyla takviye olarak kullanımı, ilk etapta çekme dayanım değerlerini düşürse de geri dönüşümle beraber DYPE'de gözükken dayanım azalışını karşılamaktadır. Diğer taraftan atık kumaşın kullanımı darbe dayanımını ise oldukça fazla düşürmüştür, sertlik ve elastiklik modülü değerlerine ise olumlu etkisi olmuştur.

10. Çalışmanın devamı olarak kumaş lifleri ile DYPE arasındaki tutunmanın artması, dolayısıyla dayanım değerlerinin çok daha iyi seviyelere gelmesi için kumaş liflerine yüzey işlemleri ve bir takım katkıları ile tutunmayı artırıcı çalışmalar yapılabilir.
11. İleriki çalışmalarda optimum özelliklerin sağlandığı granüllerin plastik enjeksiyon ile üretiminin gerçekleştirilip daha karmaşık geometriye sahip parçaların üretilmesi ve malzemenin sanayide kullanım alanları bulunması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Ahmed N., Khan J. H.**, 2002, “Effect of recycling of thermoplastics: evaluation of the properties of mixture of recycled high-density polyethylene” The 6th Saudi Engineering Conference, KFUPM, Dhahran, December 2002 Vol. 2. 359
- [2] **Pedroso A.G., Rosa D.S.**, 2004, “Mechanical, thermal and morphological characterization of recycled LDPE/corn starch blends” *Carbohydrate Polymers* 59 (2005) 1–9
- [3] **Bateman, S.A., Wu, D.Y.**, 2001, “Composite Materials Prepared from Waste Textile Fiber”, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 81, 3178–3185.
- [4] **Taşdemir, M., Biltekin, H., Caneba, G.T.**, 2009 “Preparation and Characterization of LDPE and PP—Wood Fiber Composites” *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 112, 3095–3102 (2009)
- [5] **Migneault, S., Koubaa A., Erchiqui, F., Chaala, A., Englund, K., Krause C., Wolcott, M.**, 2008, “Effect of Fiber Length on Processing and Properties of Extruded Wood-Fiber/HDPE Composites” *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 110, 1085–1092 (2008)
- [6] **Zhiling W., Enju Wang, Shuxiang Zhang, Zheng Wang, Yiping Ren**, 2009, Effects of cross-linking on mechanical and physical properties of agricultural residues/recycled thermoplastics composites *Industrial crops and products* 29 (2009) 133–138.
- [7] **Hideo O., Hiromi TOHNO, Tai URUJI**, 2002, Component Material Use of Recycled Plastic as Truck and Bus Mitsubishi Motors Technical Review 2002 No.14.
- [8] **Badia J.D, Fransisco V., Sigbritt K., Ribes-Greus A.**, 2008, Thermal analysis as a quality of tool for assessing the influence of thermo-mechanical degradation on recycled poly(ethylene terephthalate). *Polymer Testing* 28 (2009) p169-175.
- [9] **Antonie Le Duigou, Isabella P., Alain B., Christophe B.**, 2008, Effect of recycling on mechanical behaviour of biocompostable flax / poly(L-lactide) composites. *Composites : Part A* 39 (2008) p. 1471 – 1478.
- [10] **Isabelle P., Nicolas M., Alain B., Yves G.**, 2007, Effect of thermo – mechanical cycles on the physico – chemical properties of poly(lactic acid). *Polymer Degradation and Stability* 93 (2008) p. 321-328.
- [11] **M.D.H. Beg, K.L. Pickering**, 2007, Mechanical performance of kraft fibre reinforced polypropylene composites: Influence of fibre length, fibre

beating and hygrothermal ageing. Composites : Part A 39 (2008) p.1748 – 1755.

- [12]**Bourmaud A., Christophe Baley**, 2008 , Rigidity analysis of polypropylene / vegetal fibre composites after recycling. Polymer Degradation and Stability 94 (2009), p. 297-305.
- [13]**Pedroso A.G., D.S. Rosa**, 2004, Mechanical, thermal and morphological characterization of recycled LDPE/corn starch blends. Carbohydrate Polymer 59 (2005), p.1-9.
- [14]**Bourmaud A., C. Baley**, 2007, Investigations on the recycling of hemp and sisal fibre reinforced polypropylene composites. Polymer Degradation and Stability 92 (2007), p.1034-1045.
- [15]**Sam-Jung K., Jin-Bok Moon, Gue-Hyun Kim, Chang-Sik Ha**, 2008, Mechanical properties of polpropylene / natural fiber composites: Comparison of wood fiber and cotton fiber. Polymer Testing 27 (2008) p.801 – 806.
- [16]**M.D.H.Beg, K.L Pickering**. Reprocessing of wood fibre reinforced polypropylene composites.PartI: Effects on physical and mechanical properties. Composites : Part A 39 (2008);1091-1100.
- [17] **A.Bernasconi, D.Rossin,C.Armann**. Analysis effect of mechanical recycling upon tensile strength of a short glass fibre reinforced polyamide 6,6. Engineering Fracture Mechanics 74 (2007);627-641.
- [18]**Balatinecs, J.J.** The influence of recycling on the properties of wood fiber plastic composites. Macromolecular symposia (1998); 135;167-173.
- [19]**Neaz A., J.H.Khan**. Effect of recycling on the thermoplastics: Evaluation of the properties of mixture of virgin and recycled high – density polyethylene. The sixth saudi engineering conference, KFUPM, Dhahran, December 2002. Vol.2, 359.
- [20]**John W. W.**,1987, Engineers' Guide to Composite Materials, ASM International.
- [21]**Mazumdar, S.K.**, 2002, Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering, CRC PRESS,USA.
- [22]<www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/malzeme.../kompozit%20malzemeler.pdf>, alındığı tarih 17.10.2009.
- [23]**Soydinçer T., Tetik Onur, Yrd. Doç. Dr Evren Toygar**. Örgülü kompozit malzemelerin ANSYS ve ABAQUS ile gerilme analizleri ve deneysel kırılma tokluğunun hesaplanması. Dokuz Eylül Üniversitesi Y.Lisans Tezi. Ocak 2007
- [24] **Bilgiç, T.**, Polimerler –I Bölüm 2: Polietilen PAGEV Yayınları 3. Baskı 2006

- [25] **Smith, W. F.**, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Çeviren: Nihat G. Kınıkoğlu
Üçüncü Basım Ekim 2006
- [26] Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Plastik Ürünleri Sanayii Özel İhtisas
Komisyonu Raporu Ankara 2001
- [27] **Demiryürek, O.**, 2004, Sentetik lif üretiminde kullanılan ekstrüderler ve
ekstrüder-pompa sisteminin tasarım esasları, Çukurova Üniversitesi
Yüksek Lisans Tezi
- [28] < <http://www.ctpsander.org.tr/BilgiBankasi.aspx>>, alındığı tarih, 21.11.2009.
- [29] **Akkurt S.**, Plastik Malzeme Bilimi, Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı. Birsen
Yayınevi 2007.
- [30] **Levy, S.**, 1981, Plastics Extrusion Technology Handbook, Industrial Press Inc,
Newyork
- [31] **Ghulam S.A.**, Environmental Waste Management and Plastics Recycling-An
Overview. Khwarzimid Science Society.
- [32] **Rubinstein, M., Colby, R.** Polymer Physics, Oxford University Press, 2003,
sayfa 5.
- [33] **McCrum, N. G., Buckley, C. P.,** and Bucknall, C. B., Principles of Polymer
Engineering, Oxford Science Publications, 1997, syf 37.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mehmet Safa BODUR

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul – 03.06.1985

Adres: Deniz Abdal Mah. Gaspıralı İsmail Sok. No:15/4

Fatih/İSTANBUL

Lisans Üniversitesi: Yıldız Teknik Üniversitesi