

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ TABAKALI KARMA MALZEMELERİN
OTOMOTİV UYGULAMALARINDA KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet SAVAŞ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ TABAKALI KARMA MALZEMELERİN
OTOMOTİV UYGULAMALARINDA KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet SAVAŞ
(503051310)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa BAKKAL

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503051310 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet SAVAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ TABAKALI KARMA MALZEMELERİN OTOMOTİV UYGULAMALARINDA KULLANILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mustafa BAKKAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şafak YILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ömer Berk BERKALP
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **06 Haziran 2012**

Eşime,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimlerini paylaşarak, samimi ilgi ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım ve değerli hocam Doç. Dr. Sn. Mustafa BAKKAL'a, çalışmamın atölye kısımlarında, zamanlarının çoğunu bana ayırarak yardımcı olan teknisyen arkadaşlarım Sn. Erdal DİNÇ ve Sn. Osman ÇELEBİ'ye ve fakültedeki çalışmalarım süresince gereken anlayışı göstererek yardımlarını esirgemeyen şirket yöneticim ERENCO Mühendislik Müdürü Sn. Gökçe SERİNAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini, ilgilerini hiç bir zaman esirgemedi bu günlere gelmemi sağlayan sevgili annem Sn. Bedriye SAVAŞ'a ve sevgili babam Sn. Ahmet SAVAŞ'a, büyük moral kaynağımız olan sevgili babaannem Sn. Pakize SAVAŞ'a, desteklerini her zaman üzerimde hissettiren sevgili kayınvalidem Sn. Hayriye ERCİL'e ve sevgili kayınbabam Sn. Hasan ERCİL'e, en sıkıntılı anlarımda bile bana çıkış yolları gösteren, çalışmamın malzeme temini aşamasında da yardımlarını esirgemeyen Metalurji ve Malzeme Mühendisi kardeşim Sn. Salim SAVAŞ'a ve hayatıma girdiği andan itibaren hayatımı güzelleştiren, varlığının vermiş olduğu güvenle beni her zaman ayakta tutan, yapmış olduğum bu çalışmayı kendisine ithaf ettiğim değerli eşim Sn. Beyza SAVAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Mayıs 2012

Mehmet SAVAŞ
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
2. KARMA MALZEMELER.....	13
2.1 Karma Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	16
2.2 Karma Malzemelerin Sınıflandırılması	19
2.2.1 Biçimlerine göre karma malzemeler	20
2.2.1.1 Elyaf takviyeli karma malzemeler	20
2.2.1.2 Doğal elyaf takviyeli karma malzemeler	22
2.2.2 Matris malzemesine göre karma malzemeler.....	23
2.2.2.1 Polimer matrisli karma malzemeler	24
2.2.2.2 Termoplastik matrisli karma malzemeler.....	24
2.3 Polimer Matrisli Karma Malzemelerin İmalat Yöntemleri	27
2.3.1 Ekstrüzyonla kalıplama	28
3. DOĞAL ELYAFLARIN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ YERİ	33
3.1 Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Elyafların Özellikleri.....	35
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	37
4.1 Atık Kumaş ile Takviyelendirilen Termoplastik Malzeme Ekstrüzyonu.....	37
4.1.1 İmalat değişkenleri	43
4.1.1.1 Kalınlık kontrolü	43
4.1.1.2 Geri dönüşüm işlemi	45
4.2 Tabakalı Karma Malzemelere Polyester Reçine Uygulanması	49
4.3 Optik Mikroskop Görüntü Analizi	52
4.4 Tarayıcı Elektron Mikroskobu Görüntü Analizi (SEM)	52
5. SONUÇLAR	55
5.1 Aşama I: Test Sonuçları	55
5.1.1 Çekme deneyi sonuçları	55
5.1.2 Darbe deneyi sonuçları.....	61
5.2 Aşama II: Test Sonuçları.....	63
5.2.1 Ayırma testi sonuçları	63
5.2.1.1 Numune 1: Etüvde bekletme	64
5.2.1.2 Numune 2: Etüvde bekletme + Polyester uygulama	64
5.2.1.3 Numune 3: Alevle yüzey hazırlığı	64
5.2.1.4 Numune 4: Polyester uygulanması.....	64

5.2.2 Çekme deneyi sonuçları	67
5.2.3 Darbe deneyi sonuçları.....	70
5.2.4 Üç (3) noktadan eğme deneyi sonuçları.....	71
5.2.5 Maliyet analizi.....	73
5.3 Optik Mikroskop Görüntüleri.....	73
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR.....	81
EKLER.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	89

KISALTMALAR

AYE	: Ananas Yaprığı Elyafı
BCTP	: Bambu Elyaf-Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen
BMC	: Bulk Molding Compounds
CPKM	: Cam Elyaf/Polipropilen Matrisli Karma Malzeme
DYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
KM	: Karma Malzeme
LDYPE	: Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen
MAPP	: Maleik Anhidritli Polipropilen
MEKP	: Metil Etil Keton Peroksit
OYPE	: Orta Yoğunluklu Polietilen
ÖCE-TKM	: Örme Cam Elyafı Tabakalı Karma Malzeme
ÖCE-TKM (P)	: Örme Cam Elyafı Tabakalı Karma Malzeme (Polyester Reçine Uygulanmış)
PEEK	: Polieter Eter Keton
PMD	: Palmiye Meyvesi Demeti Elyafı
PP	: Polipropilen
PPS	: Polifenilen Sülfid (Polyphenylene Sulfide)
SCE-TKM	: Serbest Cam Elyafı Tabakalı Karma Malzeme
SEM	: Scanning Electron Microscope (Tarayıcı Elektron Mikroskobu)
TKM	: Tabakalı Karma Malzeme
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Karma malzemelerin su emme özellikleri.....	3
Çizelge 1.2 : Keten/cam elyafı karma malzemenin mekanik özellikleri.....	5
Çizelge 1.3 : Farklı elyaf oranlarındaki numune kodları.....	6
Çizelge 1.4 : Karma malzemelerin doymuş su değerleri.....	11
Çizelge 2.1 : Bazı mühendislik malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.	15
Çizelge 2.2 : Belli başlı cam elyaf tiplerinin özellikleri.....	21
Çizelge 2.3 : Başlıca cam elyafı türlerinin kompozisyonları (%).....	22
Çizelge 2.4 : Polimer matrisli karma malzemelerin özellikleri.....	24
Çizelge 2.5 : Tipik termoplastik reçine özellikleri.....	25
Çizelge 2.6 : Polimer matrisli karma malzeme imalat yöntemleri kriterleri.....	28
Çizelge 3.1 : Doğal elyaf kullanılan parçalar, otomobil üreticileri ve modelleri.	33
Çizelge 3.2 : Otomotiv parçalarında kullanılan doğal elyafların tipik ağırlıkları.....	35
Çizelge 3.3 : Ticari olarak kullanılan önemli elyaflar.....	35
Çizelge 4.1 : Karma malzeme üretiminde kullanılan ekstrüderin özellikleri.....	38
Çizelge 4.2 : Düşük yoğunluklu G03-5 polietilenin özellikleri.....	39
Çizelge 4.3 : İmalat değişkenleri.....	40
Çizelge 4.4 : Sıvı haldeki Polipol 337 polyesterin özellikleri.....	50
Çizelge 4.5 : Sertleştirilmiş Polipol 337 polyesterin özellikleri.....	50
Çizelge 4.6 : Butanox M-60 marka peroksit sertleştiricinin özellikleri.....	51
Çizelge 4.7 : Polyester reçine ağırlıkça karışım oranları.....	51
Çizelge 5.1 : Tampon malzemesi mekanik özellikleri.....	57
Çizelge 5.2 : Deney malzemelerinin ağırlık oranları ve yapıları.....	57
Çizelge 5.3 : Deney malzemelerinin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri.....	57
Çizelge 5.4 : Deney malzemelerinin darbe dayanım değerleri.....	62
Çizelge 5.5 : Deney malzemelerinin ayrılma testi çekme kuvveti değerleri.....	66
Çizelge 5.6 : ÖCE-TKM'nin ağırlık oranları.....	68
Çizelge 5.7 : ÖCE-TKM'lerin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri.....	68
Çizelge 5.8 : ÖCE-TKM'lerin darbe dayanımı değerleri.....	70
Çizelge 5.9 : ÖCE-TKM (P)'nin eğilme değerleri.....	72
Çizelge 5.10 : ÖCE-TKM (P) malzemesinin mekanik özellikleri.....	73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Sisal/cam elyaf malzemelerin kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri.....	4
Şekil 1.2 : 25°C sıcaklıktaki karma malzemelerin su emme davranışları	6
Şekil 1.3 : Bambu elyaf boyunun eğilme özelliklerine etkisi	7
Şekil 1.4 : Kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri	8
Şekil 1.5 : Cam elyaf oranının karma malzeme özelliklerine etkisi	9
Şekil 1.6 : Doğal elyaf oranlarının karma malzeme özelliklerine etkisi.....	11
Şekil 2.1 : Elyaf takviyeli plastik karma malzemelerin kullanım alanları.....	14
Şekil 2.2 : Karma malzemenin oluşumu.....	14
Şekil 2.3 : Sürekli ve kısa elyaflardan oluşan karma malzemeler	15
Şekil 2.4 : Farklı elyaf biçimleri	16
Şekil 2.5 : Takviye malzemesi şekline göre karma malzemeler.....	20
Şekil 2.6 : Doğal elyafların sınıflandırılması.....	23
Şekil 2.7 : Termoplastiklerin molekül yapısı; (a) Amorf (b) Yarı-kristalin yapı	25
Şekil 2.8 : Tek vidalı bir ekstrüderin şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.9 : Farklı dizaynlara sahip ekstrüder vidaları	30
Şekil 3.1 : Doğal elyaf malzemelerden üretilmiş Mercedes-Benz E Sınıfı otomobil parçaları	34
Şekil 4.1 : Çalışmada kullanılan ekstrüzyon hattı	37
Şekil 4.2 : Ekstrüder Vida-Kovan Sistemi.....	38
Şekil 4.3 : Tekstil atığı pamuklu kumaş numuneleri	39
Şekil 4.4 : Çalışmada kullanılan malzemeler	40
Şekil 4.5 : Ekstrüder kontrol paneli	41
Şekil 4.6 : Malzemenin ekstrüdere beslenmesi.....	42
Şekil 4.7 : Malzemenin merdaneler arasından geçişi	42
Şekil 4.8 : Kırma işlemine bağlı olarak üretim sonrasında elde edilen plakalar	43
Şekil 4.9 : Ekstrüder levha kalıbı ve merdane görünüşü	44
Şekil 4.10 : Merdane hızının karma malzemeye etkisi.....	45
Şekil 4.11 : Kırma işlemi öncesi malzemenin küçük parçalara ayrılması	46
Şekil 4.12 : Karma malzeme granülleri	46
Şekil 4.13 : Kırma işlemi sonrasında elde edilen karma malzeme granülleri	47
Şekil 4.14 : Karma malzeme üretim aşamaları	48
Şekil 4.15 : Karma malzeme geri dönüşüm çevrimi	49
Şekil 4.16 : Optik mikroskobun fotoğrafı.....	52
Şekil 4.17 : Tarayıcı elektron mikroskobunun fotoğrafı	52
Şekil 4.18 : Hazırlık aşamasında kullanılan altın kaplama cihazı	53
Şekil 5.1 : Çekme deneyi test numunesi ve boyutları.....	55
Şekil 5.2 : Çekme deneyi test numunesi	56
Şekil 5.3 : Tabakasız malzemelerin çekme dayanım değerleri.....	58
Şekil 5.4 : Tabakalı malzemelerin çekme dayanım değerleri.....	58
Şekil 5.5 : Tabakasız malzemelerin elastiklik modülü değerleri	59
Şekil 5.6 : Tabakalı malzemelerin elastiklik modülü değerleri	60

Şekil 5.7 : Matris yapı-elyaf tutunmalarının SEM görüntüleri	61
Şekil 5.8 : Darbe deney numunesi	61
Şekil 5.9 : Tabakasız malzemelerin darbe dayanımları	62
Şekil 5.10 : Tabakalı malzemelerin darbe dayanımları	63
Şekil 5.11 : Kenar kısımları açılmış ayırma testi numunesi	65
Şekil 5.12 : Dört farklı işlem uygulanmış ayırma testi numuneleri.....	65
Şekil 5.13 : Ayırma testi cihazına bağlanmış test numunesi (1 nolu numune).....	66
Şekil 5.14 : Ayırma testi numunelerinin çekme kuvvetleri grafiği.....	66
Şekil 5.15 : Ayırma testi sonucu plakaların ayrılma yüzeyleri.....	67
Şekil 5.16 : Cam elyaf takviyeli tabakalı numunelerin çekme dayanımı değerleri ...	68
Şekil 5.17 : Cam elyaf takviyeli tabakalı numunelerin elastiklik modülü değerleri..	69
Şekil 5.18 : Cam elyafli tabakalı malzemelerin kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri	70
Şekil 5.19 : Cam elyaf takviyeli tabakalı numunelerin darbe dayanımı değerleri.....	70
Şekil 5.20 : Eğilme deneyi numune ve destek ölçüleri.....	71
Şekil 5.21 : Eğilmeye maruz kalan numunede oluşan gerilmeler.....	72
Şekil 5.22 : ÖCE-TKM (P) malzemesinin kopma kesiti-1	73
Şekil 5.23 : ÖCE-TKM (P) malzemesinin kopma kesiti-2	74
Şekil 5.24 : ÖCE-TKM (P) malzemesinin kopma yan yüzeyi	74

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ TABAKALI KARMA MALZEMELERİN OTOMOTİV UYGULAMALARINDA KULLANILMASI

ÖZET

Azalan doğal kaynaklarla birlikte bu kaynakların verimli kullanımının öneminin artışı ve yükselen çevresel bilinç, sentetik malzemelerin yerlerini çevresel etkileri daha az olan doğal, biyolojik malzemelerin almasını sağlamıştır. Kyoto protokolü başta olmak üzere emisyon oranlarının düşürülmesine yönelik yaptırımların neticesinde doğal malzemelere yönelik ilgi artmıştır.

Karma yapılarda kullanılan elyafların, doğal malzemeler kaynaklı kullanılması yönünde bir eğilim mevcuttur. Daha çok otomotiv sanayinde emisyon oranlarının düşürülmesine yönelik olarak araçların hafifletilmesi ve bunun için de dayanım/ağırlık oranları yüksek olan doğal elyaflar kullanımı gelişmektedir. Henüz başlangıç aşamasında olan bu tip malzemeler üzerine araştırmaların genişletilerek yaygınlaşması gerekmektedir.

Çalışmada, otomobillerin tampon parçalarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesi bakımından, laboratuvar ortamında doğal elyaf ve sentetik elyafların bir arada kullanıldığı karma malzemeler incelenmiştir. Doğal elyaf olarak atık pamuklu kumaştan elde edilen pamuk iplikçikleri kullanılmıştır. Bu sayede hem atık kumaş, kullanılarak ekonomiye tekrardan kazandırılması sağlanmış hem de sentetik elyaf ve polimer kullanımı en aza indirilerek doğada çözünemeyen madde miktarı düşürülmüş ve gereken toplam maliyet değeri azaltılmıştır.

Yapılan çalışmada, önceden belirlenen pamuklu kumaş ağırlık oranına sahip polimer matrisli karma malzemenin üretimi ekstrüder vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Homojen bir yapı elde edebilmek amacıyla öncelikle kumaş parçacıkları bir ön işlemde geçirilerek pamuk iplikçikleri halini almış, sonrasında yine homojen özellikler elde edebilmek için üretilen malzemelere geri dönüşüm işlemi uygulanmıştır. Bu geri dönüşüm işleminde üretilen malzemeler küçük parçalara ayrılmış, bu parçalar bir kırıcı vasıtasıyla granül haline getirilerek tekrar ekstrüdere beslenmiştir. Bu işlemler 3 defa tekrar edilmiştir. Sonrasında ekstrüderden çıkan malzemeler pres altına alınıp soğuma sırasında malzemede olabilecek şişmeler engellenmiş, sabit bir malzeme kalınlığı elde edilmiştir. Oluşturulan malzemelerden numuneler alınıp mekanik özellikleri incelenmiştir.

Ekstrüderde oluşturulan karma malzemeler, daha sonra sentetik bir elyaf olan cam elyafların farklı formlarında ve farklı düzenlerde yerleştirilmeleriyle oluşturulan tabakalı yapılar elde edilmiştir. Tabakalı yapılar, iki doğal elyaflı karma malzeme tabakası arasında cam elyaf olacak şekilde üç katlı olarak oluşturulmuştur. Tabakalı yapılar; ekstrüzyon işleminden sonra cam elyafların iki karma malzeme tabakası arasına serilmesi, oluşturulan yapının etüvde bir süre yüksek sıcaklıkta bekletilmesi ve sonrasında soğumasının pres altında bekletilerek yapılması şeklinde üretilmiştir. Bu malzemelerden de ilgili testler için numuneler kesilip mekanik özellikleri incelenmiştir.

Elde edilen her iki grup malzeme türünün mekanik özellikleri, mevcut kullanılan Ford Transit Connect marka otomobil tampon malzemesinin yine laboratuvar çalışmaları sonucu elde ettiğimiz özellikleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, ilk aşamada en iyi özellikleri veren malzemenin özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla örme cam elyaflı tabakalı karma malzeme, tabakalarının ara yüzeylerindeki tutunma miktarını arttırmak amacıyla dört farklı yüzey işlemi malzeme üzerinde uygulanmıştır.

Farklı yöntemler uygulanan malzemeler ayrılma testine tabi tutularak tabakalı malzemelerin ara yüzey tutunmalarını en çok arttıran yöntem olarak pamuk takviyeli karma malzemelerin tabakalı yapıyı oluşturmada önce etüvde bir süre bekletilmesi ve sonrasında polyester reçine uygulanması tespit edilmiştir. Bu yöntem uygulanarak elde edilen plakalardan ilgili deney numuneleri kesilmiştir. Geliştirilen bu malzemenin çekme ve darbe deneyleri yapılarak elde edilen sonuçlarla malzemenin ilk durumundaki değerleri karşılaştırılmıştır. İlave olarak geliştirilen malzemeye üç noktadan eğme testi de uygulanarak eğilme özellikleri de tespit edilmiştir.

UTILIZATION OF NATURAL FIBER REINFORCED LAMINATED HYBRID COMPOSITES IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS

SUMMARY

Decreasing resource quantities causes increasing environmental conscious and increasing importance of using natural resources efficiently. With their minimum environmental harmful effects, natural materials take the place of synthetic materials gradually. Law sanctions like Kyoto protocol are also increased the interest of natural materials as well as obligatory of decreasing carbon emissions.

In ancient times, first composite samples have shown on bricks that are made of clay and straw. Clay and straw are not functional materials individually, but their composite material form, brick is a functional structure in building industry. Clay keeps together the straws and straws can stop the cracks on the clay, so their conjunction has good mechanical properties.

The natural fiber studies are in a preliminary period in world, so all mechanical, physical and thermal properties of fibers have not known enough yet. A great deal of scientific researches have been studied about natural fibers. Common trend of these researches are that related fibers have been generally grown in domestic areas where the researches are studied. Composite materials have been investigated in their mechanical properties with tensile testing, impact testing, bending testing, melt flow index analyses, water absorption testing, etc. In studies, there have not been only natural fiber composite materials, but also hybrid composite materials with synthetic fibers such as glass fibers, carbon fibers, and aramid fibers.

In most articles, to increase the mechanical properties, different chemical treatments have been applied fibers such as sodium hydroxide, acetylation, permanganate, peroxide, maleic anhydride, etc. These treatments were applied to fibers in composite materials for increasing the bonding forces and also applied to fiber laminates or composite laminates to increase interlaminar bonding strengths.

Composite materials have a huge range area of usage because of their various advantages such as high tensile and bending strength, good molding performance, easy forming properties, good conductive and good insulation materials individually, high resistance to corrosion and chemical attacks, permanent coloring features, high vibration damping rates, etc.

Beside lots of advantages of composite materials, they are not perfect materials, so they have some disadvantages. Composite materials have air voids, so their fatigue strengths are not enough according to metals. They have different mechanical and physical properties in same material, and variable parameters for different directions. They are not manufactured in accurate dimensions, and operations such as hole punching, cutting. They are so brittle according to forging metals. They will have additional damage, if they are disassembling. They have high moisture absorption rates, so they need special drying conditions before any operation.

Composite materials are classified according to structure elements and using areas. The matrix material classes are polymer matrix, ceramics matrix, and metal matrix. Fiber reinforced composites, particle reinforced composites, and layer reinforced composites are the reinforcement classes of these materials. Additional classifications are according to structures (metal organic, metal inorganic, etc.), component phases (matrix system composites, laminar composites), component distributions (permanent composites, transient composites), and functions (electrical composites, structural composites).

Various types of production methods are used for composite materials. Production parameters such as molding material geometrical form, size, resin type and properties, reinforcement type, expected material features are the main items for selecting production method. The types of production methods are pultrusion, resin transfer molding (vacuum assisted or not), hand lay up, surface preparation and bonding, laminate construction, compression molding, and filament winding.

Strength and stiffness are the main properties of natural fibers in composite materials. Cellulose is a natural polymer raw material that gives high strength and stiffness characteristics to composites in lower mass loads. They are used for long natural fibers. These structural cells are existed in plant stems, leaves, and seeds. Generally, fibers are comprised from wood cores surrounded around the stems. Fiber bunches consisted different fibers and fiber filaments are existed in stems.

Fibers used in composite materials have been an inclination to made of natural sources. Especially in automotive industry, utilization of natural fibers which have good strength/mass ratios, are improved to reduce carbon emission quantities.

Researches about natural fibers are increased because of their competitive properties due to synthetic fibers like glass fiber. Automotive is an important industry that composite materials made of these type fibers are used. Using rates of natural fiber composites have exceeded half ratio of all types of composites. Last decade, European automotive manufacturers have used biological fibers in door panels, seat backs, inner floor layings, headliners, package trays, dashboards, trunk liners.

Kyoto protocol is a commitment agreement which member countries have a responsibility about reducing the carbon emission rates. Number of this protocol members is ever increasing to protect world. Fuel consumption is the main factor of carbon emission, so with reducing fuel consumption, required emission rates can be caught. Automotive parts made of natural fibers which have good mechanical properties with minimum weights, will be assisted to decrease this consumption.

All researches about automotive performance are settled on to decrease material costs with supplying same quality level to be stay competitive in world automotive markets. In automotive industry, an important problem is what synthetic materials parts have been done after completion of their using life period. Recycling and biological degradation properties of natural sources and materials, become an advantage for this problem, so agriculture based natural fibers take petroleum based synthetic materials place in this industry. In terms of environmental conditions, the using natural materials cause less material wastes and less fuel consumption.

In this study, natural fiber effects with using synthetic fibers are investigated together in composite materials. The resulted mechanical properties of composites have been compared with the front buffer material of Ford Transit Connect. Waste cotton fabrics are used as natural fibers in this study. This usage causes either same recycled materials have been used again in different area, or reduced utilization of synthetic fiber and polymer materials ratios in composite. Using less non-biodegradable material and reduce total costs are the other advantages of natural fibers.

Firstly waisted mass ratios of cotton staples and polymer matrix have been produced in a single screw extruder. To supply homogenous properties in all material, cotton fabrics have been pretreatment process and they would be cotton staples in a textile machine. Then produced materials have been recycled operation. In recycling process, the product composite material have been cut into small pieces. The pieces of composites are put into granulator to make granules for feeding extruder again. After that all composite material granuls have been fed into extruder, so the second production stage would be begun. This recycling process has been three times for all composites. After last stage, the composite materials have been taken to hydraulic press to prevent swelling and provide same thickness in all material plates. Samples which are cut in these plates, have been mechanical tested and acquired related property results.

After extrusion process, laminar structures have been comprised and these structures have been kept waiting in incubator oven for a while, then immediately transferred to hydraulic press before becoming cold. Material in hydraulic press have been cooled down under hydraulic loads to prevent swelling or another inequalities. Samples have been cut in laminar materials and tested to determine the mechanical properties.

The composite plates which were produced by extruder, have been also made laminar structures with different knitting types and different length dimensions of glass fibers. Laminar structure have been formed with three layers as one glass fiber layer between two composite material plates.

Two groups of material's mechanical properties have been compared to the leading buffer material of the Ford Transit Connect automobile mechanical properties, which have been tested in same laboratory conditions.

On the second stage of this study, the aim is improving mechanical properties of material which have the best properties. Therefore four different surface treatments are used to increase the adhesion forces of laminates interfaces of the highest properties material, knitting glass fiber reinforced laminated hybrid composite.

These four different kinds of materials are subjected to separation tests, to establish which have the highest adhesion force. The holding in incubator and applying polyester resin to laminates interfaces of knitting glass fiber reinforced laminated hybrid composite is the best method which have been the highest results. The tensile testing and impact testing are applied to this type of material specimens, and the results are compared with the prior condition that without surface treatment and polyester resin. Additionally three points bending test is applied to the material to establish the bending properties.

1. GİRİŞ

Karma malzemeler çok eski zamanlardan bu yana kullanılan bir malzeme türü olmuştur. Türkler saman ile çamurun birleşmesiyle oluşan kerpici bulmuşlar ve yapı malzemesi olarak kullanmışlardır. Halen günümüzde Anadolu'nun çeşitli kesimlerinde bu tip malzemeden yapılan yapılar mevcuttur. Çinliler ise samanı kille karıştırarak bugün dahi yaygın bir şekilde kullanılan tuğlanın bulunmasına yol açmışlardır. İnsanoğlunun oluşumu kadar eskiye dayanan karma malzeme kullanımı gelişen teknoloji ile birlikte yerini, tabiatta bulunan veya sentetik olarak laboratuvar ortamında oluşturulan ve istenilen özellikleri bir arada barındıran birden fazla katkı malzemesinin makro yapıda ilave edilmesiyle meydana gelen çoklu karma malzemelerin kullanımına bırakmıştır. Bu sayede iki veya daha fazla katkı malzemesi içeren yapılar sadece tek katkılı karma malzemelere göre çok daha yüksek dayanım değerleri göstermekte, bunun yanında daha ekonomik olmaktadır.

Mühendislik konusu olarak karma malzemelerin kullanımının ele alınması ise ancak son altmış yılda söz konusu olmuştur. Sağladığı yüksek mukavemet/ağırlık oranı, boyut ve termal kararlılık, sertlik ve aşınmaya karşı dayanıklılık gibi birçok özelliği sebebiyle endüstride demir-çelik ürünlerinin yerlerini, giderek hızlı bir şekilde almaktadır. Kullanılan karma malzemeler polimer esaslı matrislerin çeşitli elyaf katkılarıyla oluşturduğu malzemelerdir. Matris malzemesi olarak genellikle geri dönüşüm özelliği olan termoplastik matris malzemeleri kullanılmaktadır. Geri dönüşüm işleminin yüksek önemi, ilerleyen teknolojiyle birlikte kullanılan plastik veya karma malzeme miktarlarının hızlı artışı, malzemelerin doğadaki yarılanma ömürlerinin uzun oluşunun da göz önüne alınmasıyla ortaya çıkacaktır. Artan çevresel bilinçle birlikte bu geri dönüşüm ve sağladığı ekonomik katkı termoplastik malzemelerin yaygınlığının gelişmesine yol açmaktadır.

Geleneksel olarak kullanılan cam elyaf, karbon elyaf, aramit gibi elyaf tipleri; yenilenebilir, sürdürülebilir olmamalarından dolayı yerlerini doğal elyaflara bırakmaktadır. Doğal elyaflar; bitkisel, hayvansal ve mineral kaynaklı elyaflar olmak üzere 3 grup içinde sınıflandırılmaktadır. Genellikle karma malzeme üretiminde

selülozik karakterli bitkisel lifler kullanılmaktadır. Son yıllarda çeşitli standartların getirmiş olduğu emisyon sınırlandırmaları neticesinde bitkisel elyaf katkılı termoplastik matrisli karma malzemeler otomotiv endüstrisinde daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Bu tip malzemelerin kullanımı araçların ağırlıklarını düşürdüğü için yakıt sarfiyatını ve çıkan karbon emisyon miktarlarını aşağılara çekmektedir. Otomobillerin koltuk desteklerinde, kapı iç panellerinde, taban döşemelerinde, yedek lastik kaplamalarında, ön konsollarında vb. bölümlerinde doğal elyaf katkılı karma malzemeler yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, doğal elyaf olarak ülkemizde en çok yetiştirilen ürünlerden biri olan pamuk elyafı ve sentetik bir elyaf olan cam elyafın, düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) matris malzemesi kullanılarak oluşturulan tabakalı karma malzemeler incelenmiştir. Çalışmada geri dönüşüm işleminin ekonomik olarak avantajları ile çevresel etkileri bakımından organik takviye kullanmanın, plastik kullanımını ve geleneksel elyaf kullanımını azaltmak ve karma malzemenin üretimi sonrasında kırıp tekrar üretilmesi neticesinde homojenliğin artırılarak dayanım değerlerinin yüksekliğinin temin edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma sonucunda, kullanılan farklı tabakalı karma malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimi, geri dönüşüm işleminin mekanik özellikler bakımından yapmış olduğu pozitif etki, geleneksel elyaf olan cam elyafın örgülü olarak tabaka şeklinde uygulanması durumundaki yapının dayanım değerlerinin, aynı şartlar altında cam elyafın dağınık halde bulunduğu yapının değerlerinden daha yüksek çıktığı görülmüştür. İkinci aşamada örme cam elyafı malzemeye polyester reçine uygulanarak dayanım değerleri geliştirilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

S. Panthapulakkal ve arkadaşlarının 2005 yılında yayınladıkları çalışmada, kimyasal ve mekanik olarak hazırlanan buğday sapı elyaflarının termoplastik malzeme içerisinde göstermiş olduğu özellikleri incelemişlerdir. Elyaflar kimyasal içeriğine, yüzey morfolojisine, fiziksel, mekanik ve termal özelliklerine göre incelenmiştir. Kimyasal işlemlerle hazırlanan elyafların yüzey düzensizliklerinin giderildiği ve

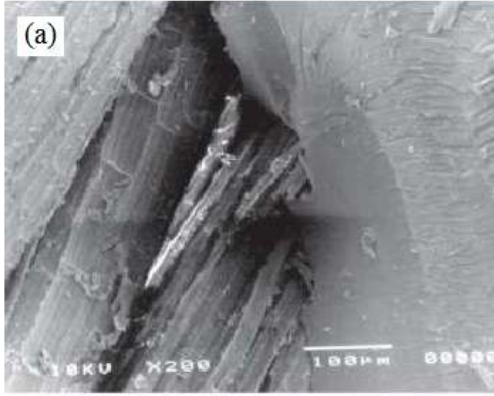
daha iyi mekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Mekanik işlemlerle hazırlanan elyafların, kimyasal işlemlerle hazırlanan elyaflara göre daha dayanım özellikleri gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni olarak aynı koşullar altında kimyasal işlemlerle hazırlanmış olan elyafların termoplastik malzeme içerisindeki saçılma (dispersiyon) miktarını azaltması gösterilmiştir [1].

S. Mishra ve arkadaşlarının 2003 yılında yapmış olduğu çalışmada, sisal/cam karma elyaf ve ananas yaprağı elyafı (AYE)/cam elyaflarının polyester matrisle oluşturdukları karma malzemelerin mekanik performansları incelenmiştir. Numuneler çeşitli cam elyaf ağırlık oranlarında ve biyolojik elyafların çeşitli kimyasal işlemlerden geçirilmesiyle elde edilmiştir. Nem tutma karakteristikleri incelendiğinde çoklu karma malzemelerin, biyolojik karma malzemelere (sisal/polyester, ananas/polyester) göre daha az su veya nem tuttuğu tespit edilmiştir. Çizelge 1.1'de farklı numunelerin su emme miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 : Karma malzemelerin su emme özellikleri [2].

Karma malzeme numuneleri	Su emme miktarları (%) (24 saat)
AYE-polyester	12.5
AYE/cam karma elyaf -polyester	7.6
Sisal-polyester	10.6
Sisal/cam karma elyaf-polyester	7.2
Sisal/cam karma elyaf polyester (alkali uygulanmış sisal)	5.6
Sisal/cam karma elyaf-polyester (akrilonitril uygulanmış sisal)	5.8
Sisal/cam karma elyaf polyester (asetilen uygulanmış sisal)	5.2

Biyolojik karma malzemelerin çekme, eğilme ve darbe mukavemetleri karma malzemeye cam elyafların değişik oranlarda katılmasıyla pozitif karmalaşma (hibrit) etkisi görülmüş, dayanım değerlerinde artış gerçekleşmiştir. Çeşitli kimyasal işlemlere uğrayan biyolojik elyaflardan, optimum çekme ve darbe dayanımını sağlayan %5 alkali uygulanmış biyolojik elyaf olduğu görülmüştür. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi tarayıcı elektron mikroskobu (SEM-scanning electron microscope) ile yapılan inceleme sonucunda cam+alkali uygulanmış sisal+polyester karma malzemenin en iyi elyaf+matris yapışması sergilediği ortaya çıkmıştır [2].



a) Alkali uygulanmış sisal elyafı karma malzeme x200



b) Asetilen uygulanmış sisal elyafı karma malzeme x75

Şekil 1.1 : Sisal/cam elyaf malzemelerin kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri[2].

C. A. B. Vieira ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada, içerisindeki toplam oranı %25 olan farklı oranlardaki sisal/cam elyaf katkılı karma malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Cam elyaf katkısının artışıyla birlikte çekme ve darbe deneylerinde elde edilen dayanım değerleri artış göstermektedir. Sisal elyafın artışıyla birlikte mekanik özelliklerde düşme gözlenirken su emme kabiliyetinde artış gözlemlenmektedir. Bu artış boyut ve ölçü sabitliği özelliğini düşüren bir etki göstermektedir [3].

G. Kalaprasad ve arkadaşlarının 2004 yılında yapmış oldukları çalışmada, kısa sisal/cam elyaf katkılı düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) matrisli karma malzemenin, elyaf uzunlukları ile çeşitli yüzey işlemlerinin elyaf ve matrisin çekme özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. İnceleme sonucunda, karma malzemenin oluşturulması sırasında cam elyaflarının kırılma özelliğinin yüksek oluşundan dolayı sisal elyaflara nazaran daha yüksek kırılmalara maruz kaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç sisal/cam elyaf katkılı polietilen karma malzemesinin çekme özelliği sisal elyaf uzunluğuna bağlı olduğunu göstermektedir. Elyaflara uygulanan farklı kimyasal uygulamaları karma malzemenin çekme özelliği üzerinde olumlu yönde değişimlere yol açmıştır. Farklı kimyasallar içerisinde benzil peroksit uygulanan elyaflardan oluşan karma malzemeler en yüksek çekme dayanımı ve modülü değerlerini veren malzemeler olmuştur. Çalışmada kullanılan kimyasal uygulamalar arasında fiyat/performans oranı değerleri göz önüne alındığında asetilen uygulaması en iyi sonucu veren kimyasal olarak tespit edilmiştir [4].

J. A. Foulk ve arkadaşları tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, pamuk ve keten içerikli ticari bez ile geri dönüşümlü yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) matrisli

karma malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Geri dönüşümlü YYPE içerisindeki pamuk ve keten bezi elyafları birleşimi karma malzemenin su emme kabiliyetini ve şişme kabiliyetini arttırdığı gözükmemektedir. Maleik anhidrit, silan, enzim veya maleik anhidrit katkılı polietilen tarafından kimyasal uygulanan ticari bezin oluşturduğu karma malzemede polimerle elyaf arasındaki etkileşim yüksek çıkmıştır. Silan kimyasal uygulaması dışındaki uygulamalarda, kimyasal uygulanan pamuklu kumaşın çekme gerilmeleri değerleri kimyasal uygulanmamış elyafın değerlerine göre daha düşük değerler aldığı görülmüştür [5].

A. Esfendiari 2007 yılında yapmış olduğu çalışmada, keten elyafı ile cam elyafın oluşturduğu karma malzemenin polipropilen matris içerisindeki etkileri, sayısal yöntemler kullanarak incelenmiştir. Çalışmanın asıl amacı, doğal elyafla cam elyafın etkilerinin birbirleriyle kıyaslanması değil, mevcut malzemelerin davranışlarının mekanik özellikleri üzerine etkilerinin istatistiksel açıdan yeni veriler oluşturmalarıdır. Çalışma sonucu elde edilen elastiklik modülü değerleri, teorik olarak hesaplanan değerlere çok yakın sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Aralarında çıkan küçük farklar analiz edilen karma malzemedeki elyaf/matris yapışması ve boşluk etkilerinden doğan kusurlar nedeniyle oluşmuştur [6].

Çizelge 1.2 : Keten/cam elyaflı karma malzemenin mekanik özellikleri [6].

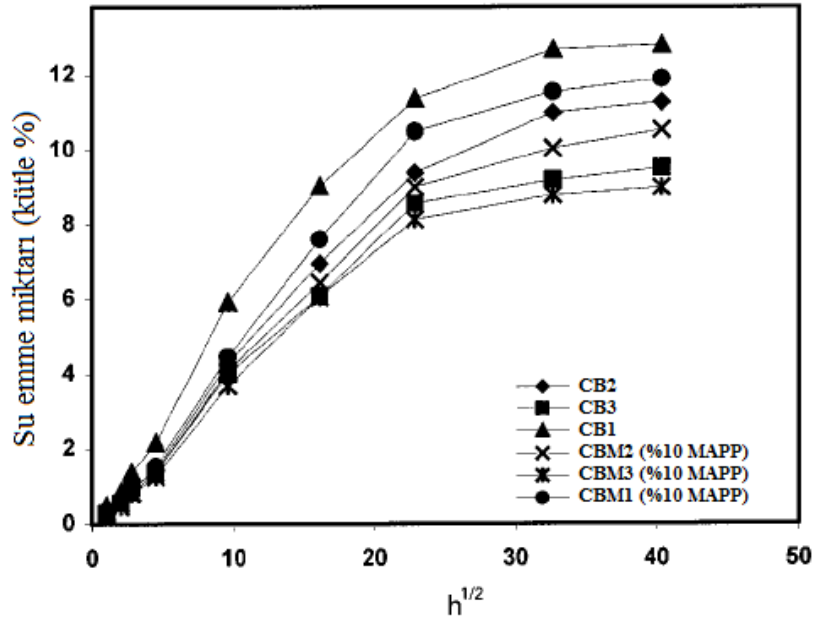
Karma Malzeme	Elastiklik Modülü		Çekme Gerilmesi
	Teorik (MPa)	Deneysel (MPa)	Deneysel (Mpa)
PP	-	1049 ± 72	30.0 ± 0.9
PP+% 20 Keten Elyafı	1851	1502 ± 102	17.9 ± 1.4
PP+% 20 Cam Elyafı	2727	2347 ± 75	52.4 ± 1.4

M. M. Thwe ve K. Liao'nun 2002 yılında yayınladıkları çalışmada kısa bambu elyaf-cam elyaf takviyeli polipropilen matrisli karma malzemenin (BCTP) çekme ve eğilme özellikleri, elyaf içeriği, elyaf uzunlukları, bambu elyaf cam elyaf ağırlık oranları ve maleik anhidritli polipropilen bağlama kimyasalı (MAPP) etkileri açısından incelenmiştir.

Çizelge 1.3 : Farklı elyaf oranlarındaki numune kodları [7].

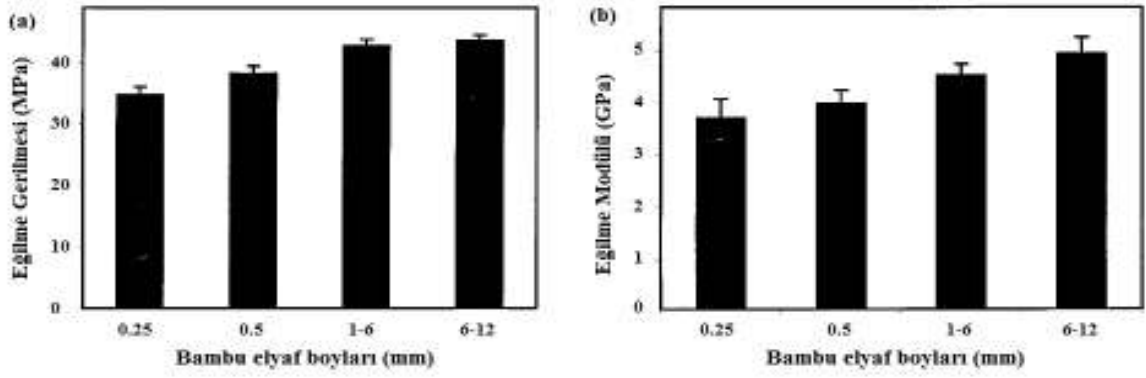
Numune	Cam Elyaf Ağırlık Oranı %	Bambu Elyaf Ağırlık Oranı %	Matris Tipi
CB1	0	30	PP
CB2	10	20	PP
CB3	20	10	PP
CBM1	0	30	PP/MAPP
CBM2	10	20	PP/MAPP
CBM3	20	10	PP/MAPP

Ayrıca yaşlandırma sonrası karma malzemelerin mekanik özelliklerinin korunumu ve malzemelerin su emilim özellikleri de tespit edilmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : 25°C sıcaklıktaki karma malzemelerin su emme davranışları [7].

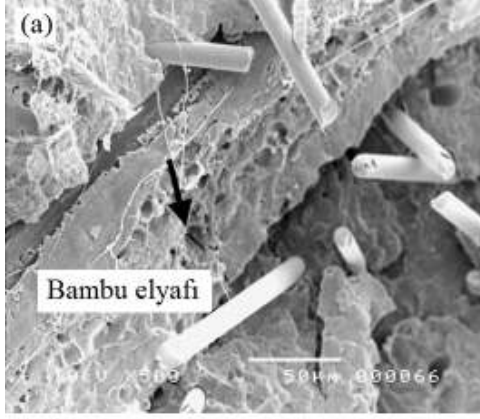
% 20 ağırlık oranındaki cam elyaf miktarı BCTP karma malzemesinin çekme modülü değerini % 12,5, eğilme modülü değerini % 10, çekme gerilmesi değerini % 7 ve eğilme gerilmesi değerini % 25 arttırdığı görülmüştür. Bambu elyaf boyunun uzaması, çekme gerilmesinin düşmesine, çekme modülü değerinin de bir miktar yükselmesine neden olmuştur. Uzun bambu elyafların kullanıldığı karma malzemenin eğilme gerilmesi ve eğilme modülü değerleri, kısa bambu elyafın kullanıldığı karma malzemelerin değerlerine göre sırasıyla % 25 ve % 35 oranlarında yüksek olduğu gözlemlenmiştir [7].



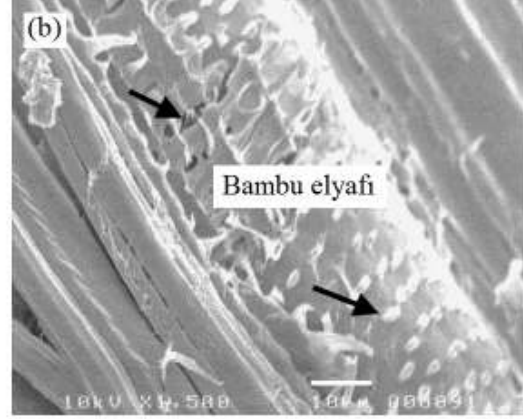
Şekil 1.3 : Bambu elyaf boyunun eğilme özelliklerine etkisi [7].

Aynı yazarların 2003 yılında yaptıkları çalışmada, BCTP karma malzemelerinin hidrotermal yaşlanma ve yorulma davranışlarını incelenmiştir. BCTP karma malzemesi numunelerinin, 25°C sıcaklıkta 6 ay boyunca bekletilmesi neticesinde oluşan çekme gerilmesi ve elastiklik modülü değerlerinin, 75°C sıcaklıkta 3 ay boyunca bekletilmesi sonucu oluşan değerlerle karşılaştırıldığında değerlerde daha az düşüşlerin olduğu görülmüştür. Bunun yanında 75°C sıcaklıkta 3 ay süreyle bekletilen numunelerdeki gerilme ve modül değerlerinde de yüksek azalmalar göstermiştir. Bağlama kimyasalı olarak MAPP'ın kullanıldığı karma malzemelerde nem emilimi ve çekme gerilmesi bozulması önlenmiş olmaktadır. Karmalaştırma yaklaşımı olarak daha dayanıklı cam elyaflar ile bambu elyafların harmanlanması, doğal elyafın çevresel yaşlanma etkisi altında dayanıklılığının gelişmesi için etkin bir yoldur [8].

Aynı yazarların 2003 yılında yapmış oldukları bir diğer çalışmada, BCTP karma malzemesinin çevresel yaşlandırma ve hızlandırılmış yaşlandırma etkilerinin, malzemenin çekme ve eğilme davranışı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada toplam elyaf oranı %30 olacak şekilde malzemeler, su içerisinde 25°C sıcaklıkta 1600 saat ve 75°C sıcaklıkta 600 saat bırakılmıştır. Toplam elyaf oranı değişmeyecek şekilde karma malzemedeki bambu elyafı oranı azaltılıp cam elyaf oranı artırıldığında, cam elyafın ihmal edilebilecek seviyedeki nem emme kabiliyeti sonucu, karma malzemelerin su emme kapasiteleri düşmektedir. Tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinde de görülebileceği üzere 500-600 saat sonunda, bambu elyafındaki lignin gibi bileşenlerin varlığı ile polipropilen matriste görülen bozulmalar sebebiyle, 25°C sıcaklıktaki karma malzeme kütle artışı, 75°C sıcaklıktaki artıştan daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır (Şekil 1.4).



a) 25°C sıcaklıkta 520 saat bekletilmiş malzeme



b) 75°C sıcaklıkta 600 saat bekletilmiş malzeme

Şekil 1.4 : Kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri [9].

Çekme ve eğilme gerilmeleri ile sertlik değerleri numunelerin 25°C ve 75°C sıcaklıktaki bekleme süreleri boyunca düşüş göstermişlerdir. Gerilme ve sertlik değerlerindeki sürekli düşüş yaşlandırma süresine ve sıcaklığına bağlı değişim gösterdiği görülmüştür [9].

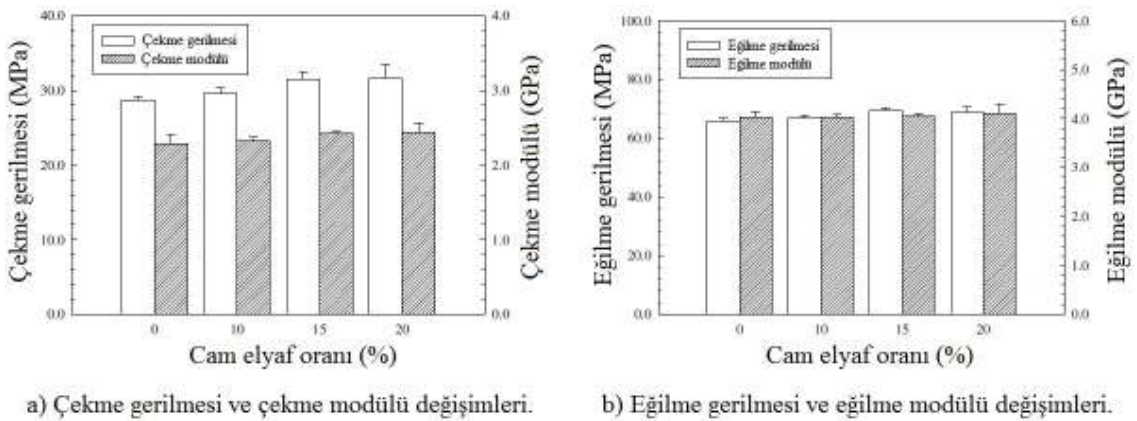
A. Haneefa ve arkadaşlarının 2008 yılında yaptıkları çalışmada, muz elyaf-cam elyaf takviyeli polistren matrisli karma malzemenin elyaf içeriği, elyaf yüklemesi ve karmaşıklık etkisinin, çekme gerilmesi, elastisite modülü, kopma uzaması ve eğilme özellikleri gibi mekanik özelliklerin üzerine etkisi incelenmiştir. Karma malzemenin ara yüz değişiminin mekanik özellikler üzerine etkisi ayrıca incelenmiş, alkali, benzoil klorid ve maleik anhidrit uygulanmış polistren gibi kimyasal işlemlerin çekme özelliklerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Kimyasal işlemler neticesinde karma malzemede oluşan gelişmiş elyaf dağılımı, muz elyafın su emme kabiliyetinin düşürdüğü, elyaf-matris uyumluluğunu geliştirerek mekanik sabitlik, fiziksel ve kimyasal bağlanmanın oluştuğu görülmüştür [10].

P. N. B. Reis ve arkadaşlarının 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada, tabaka halindeki iki cam elyafı/propilen matrisli karma malzeme arasına konulan elle üretilen kenar elyafı/polipropilen matrisli karma malzemenin eğilme davranışları incelenmiştir. Oluşturulan tabakalı karma malzeme (TKM), sadece cam elyafı/polipropilen matrisli karma malzemenin (CPKM) özellikleriyle karşılaştırıldığında tabakalı karma malzemenin ekonomiklik, ekolojik uygunluk ve geri dönüşüm gibi avantajlarının olduğu ve ayrıca yorulma gerilmesi değerini bir miktar iyileştirdiği görülmüştür. Çalışmada asıl ulaşılan sonuç, TKM'nin kopma

gerilmesi, CPKM'nin kopma gerilmesine nazaran % 4 oranında yükseldiği, bunun yanında elastisite modülü değerinin de % 3,8 oranında yükseldiği gözlemlenmiştir. TKM'nin eğilme gerilmesi ve eğilme sertliği değerleri CPKM'nin değerlerine göre yaklaşık % 22 oranında yüksek çıkmıştır. Bu durumda çekme bölgesindeki elyaflarda çatlaklar görülmüştür [11].

S. K. Samal ve arkadaşlarının 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada, Haake çift vidalı ekstrüderde üretilen kısa muz elyaf-cam elyaf polipropilen matrisli karma malzeme daha sonra basınçlı döküm yöntemiyle bağlama kimyasalı olarak maleik anhidrit uygulanmış polipropilen (MAPP) ve saf polipropilen malzemeye birlikte üretilen karma malzemeler incelenmiştir. Cam elyafın ve bağlama kimyasalı olan MAPP'ın bulunması karma malzemenin su emme kabiliyetini düşürdüğü görülmüştür. Muz elyaf oranının % 30, cam elyaf oranının % 15 ve bağlama kimyasalı MAPP oranının % 2'ye yükseltilmesi neticesinde karma malzemenin çekme, eğilme ve darbe gerilme değerlerinin yükseldiği görülmüştür [12].

K. Jarukumjorn ve N. Suppakarn'ın 2009 yılında yaptıkları çalışmada, cam elyafın sisal/propilen karma malzemesi üzerindeki, karmalaşma (hibritleşme) etkisi incelenmiştir. Sisal/propilen karma malzemesi içerisine cam elyafın katılmasıyla çekme ve eğilme modüllerinde bir farklılık yaratmadan çekme, eğilme ve darbe gerilmeleri değerlerini yükseltmiştir (Şekil 1.5). Cam elyafın malzemedeki artış miktarıyla malzemenin su emme kabiliyetinde düşme görülmüştür. Bu düşüş cam elyaf oranının artmasıyla aynı şekilde devam etmiştir [13].



Şekil 1.5 : Cam elyaf oranının karma malzeme özelliklerine etkisi [13].

2009 yılında T. M. Schmidt ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, reçine transfer kalıplama yöntemiyle oluşturulan sisal-cam elyafli polipropilen matrisli karma malzemenin geçirgenlik özelliği ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Sisal elyaf takviyesi karma malzeme yapısının geçirgenlik özelliğini arttırmakta ve ayrıca mekanik özelliklerin gelişmesine yol açtığı görülmüştür [14].

H. D. Rozman ve arkadaşlarının 2001 yılında yayınladıkları çalışmada, polipropilen matris içerisinde palmye meyvesi demeti (PMD) elyafı ve cam elyaf katkısı bulunan karma malzemelerin, PMD yağının eğilme ve çekme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. PMD elyafındaki yağ miktarının çıkarılması, eğilme ve çekme modülü ile kopma uzaması değerlerini bir miktar düşürmesi yanında, eğilme ve çekme dayanımları ile tokluk değerlerini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Yapılan ön çalışmalarda matris içerisindeki PMD ve cam elyaflarının her ikisinin de bulunması, elyafların birbirleriyle olan etkileşimi sebebiyle karma malzemedeki polipropilen malzemesinin çekme ve eğilme gerilme değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir [15].

M. Karina ve arkadaşlarının 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada palmye meyvesi demeti elyafı (PMD)-cam elyaf ile polyester matrisli karma malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini, PMD elyaflarının uzunluğuna ve elyaf yüklenmesine göre incelemişlerdir. PMD elyaflarının uzunluklarının karma malzemenin eğilme dayanımına ve malzeme yoğunluğuna gözle görülür bir etki yapmadığı fakat kısa PMD elyaflarının uzun elyaflara göre yüksek su emilimine ve boyutsal değişikliğe yol açtığı tespit edilmiştir. PMD elyaf miktarının artmasıyla karma malzeme eğilme dayanımı ve yoğunluk değerleri düşmekle birlikte hacimsel olarak %40-70 oranında PMD elyaf miktarı, polyester reçine eğilme dayanımını % 350 arttırmaktadır [16].

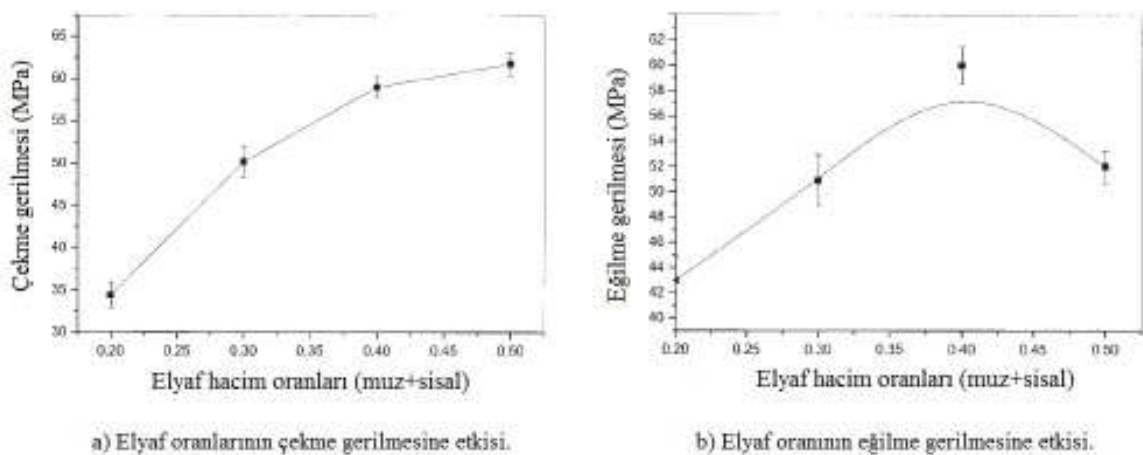
O. L. S. Alsina ve arkadaşlarının 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada sisal/pamuk, hint keneviri/pamuk ve rami/pamuk karma malzemeli kumaşlarının su emme özellikleri incelenmiştir. Daldırma sıcaklığının etkisi, elyaf hacim oranı ve karma malzemeye katılmadan önce kumaşın kurutulması açılarından numuneler değerlendirilmiştir. Sonuçta Çizelge 1.4'te de görüldüğü üzere karma sisal/pamuk kumaşın, hint keneviri/pamuk ve rami/pamuk karma malzemelerine nazaran daha yüksek su emme eğilimi gösterdiği ortaya çıkmıştır [17].

Çizelge 1.4 : Karma malzemelerin doymuş su değerleri [17].

Karma malzeme	Hacim oranı (%)	Sıcaklık (°C)		
		30	50	60
Sisal/pamuk	47.2	14.1	16.8	17.6
	56.6	15.8	17.8	21.1
Rami/pamuk	32.4	5.2	5.6	6.0
	54.3	5.3	5.9	6.8
Hint kenevir/pamuk	28.5	3.8	4.7	5.1
	41.2	4.6	5.3	5.8

2007 yılında H. P. S. Abdul Khalil ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, palmye meyvesi demeti elyafı (PMD)-cam elyafı ile polyester matrisli karma malzemelerde, elyaf miktarları değiştirilerek malzemenin çekme, eğilme ve darbe özellikleri incelenmiştir. Burada PMD/cam elyaf polyester matris çoklu karma malzemenin mekanik özellikleri açısından, PMD elyaf polyester matris karma malzemedan daha iyi değerler elde edildiği görülmüştür. Yapılan çalışmadaki çoklu karma malzemedeki yükselen dayanım değerleri, cam elyafın PMD elyafa karşı sahip olduğu yüksek mukavemet değerlerinden olduğu tespit edilmiştir[18].

M. Idicula ve arkadaşlarının 2005 yılında yayınladıkları çalışmada kısa uzunluklarda rastgele yerleştirilmiş muz ve sisal elyaf/polyester matrisle oluşturdukları karma malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Karma malzemelerin eğilme dayanımlarında ve eğilme modülünde pozitif karmalaştırma (hibrit) etkisi gözlenmiştir. Çekme dayanımında çeşitli hacimsel katılım oranlarındaki elyafların pozitif karmalaşma etkisi görülmüş olup, maksimum çekme dayanımı muz/sisal oranının 4/1 olduğu durumda gerçekleştiği tespit edilmiştir [19].



Şekil 1.6 : Doğal elyaf oranlarının karma malzeme özelliklerine etkisi [19].

T. V. Dieu ve arkadaşlarının 2004 yılında yapmış oldukları çalışmada BMC (Bulk Molding Compounds) firmasından elde ettikleri bambu/cam elyaf tabakalarını, doymamış polyester matrisle basınçlı döküm (compression molding) yöntemiyle karma malzeme elde edilmiş ve fizyo-mekanik açıdan incelenmiştir. Oluşturulan karma malzemelerden, elyaf/matris kütle oranı 1/3 olan malzeme (%25 bambu elyaf ve %75 cam elyaf), diğer farklı oranlara nazaran en iyi fizyo-mekanik özellikleri gösterdiği görülmüştür [20].

C. Z. Paiva Junior ve arkadaşlarının 2004 yılında yapmış oldukları çalışmada, rami/pamuk karma elyaf polyester matrisli çoklu karma malzemelerinin çekme özellikleri incelenmiştir. Çalışmada çekme yönünde sıralanan rami elyafın hacimsel oranı çoklu karma malzemenin çekme karakteristiğini pozitif anlamda etkilediği, kumaşın ve pamuk elyafın çapının çekme mukavemetine etkisinin minimum olduğu görülmüştür. % 45 hacimsel oranındaki rami elyaf katkısının, saf polyester matrisin çekme gerilmesini % 338 oranında arttırdığı tespit edilmiştir [21].

2. KARMA MALZEMELER

Karma malzemenin ilk örnekleri kil ve saman karışımından elde edilen bir çeşit tuğlada görülmektedir. Kil ve saman tek başlarına bir fonksiyon elde edememelerine rağmen bir araya geldiklerinde tuğla gibi fonksiyonel bir yapıyı oluşturabilmektedir. Bir inanışa göre samanın kili çatlaklardan koruduğunu iddia ederken diğer bir görüş samanın aslında kuru kildeki çatlakların ilerlemesini durdurduğunu belirtmektedir.

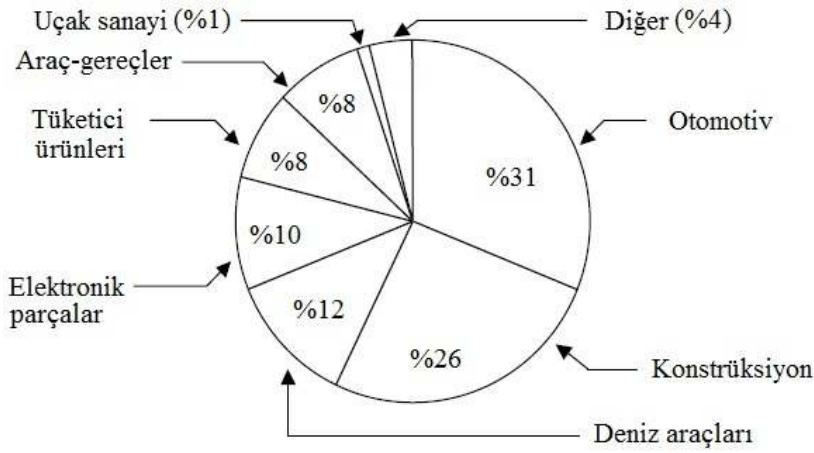
Modern karma malzemeler, 20. yüzyılda, 1930'lerden itibaren cam elyaf katkılı reçinelerle birlikte kullanılmaya başlanmıştır. Bu tip karma malzemelerden oluşturulan yat ve uçaklar “fiber-glass” (cam elyaf) adıyla anılmışlardır. 1970'lerden itibaren karma malzeme kullanımı, karbon, boron ve aramid gibi elyafların bulunmasıyla ve metal ve seramik matrislerin oluşturduğu karma malzemelerin gelişmesiyle oldukça artmıştır.

Karma malzemeler birbiri içerisinde çözünmeyen ve makroskopik seviyede birleştirilmiş iki ya da daha fazla malzemedan oluşan yapısal elemanlardır. Bileşenlerden birine takviye fazı, takviye fazını içerisinde bulunduran yapıya da matris denilmektedir. Takviye fazı olan elyaf parçacık ve tanecik formlarında olabilmektedir. Matris fazı genellikle akıcı fazdır. Karma malzemelere örnek olarak çelikle takviyelendirilmiş beton, grafit elyaf katkılı epoksi verilebilmektedir [22].

Karma malzemeler metal oldukça farklı özellikler gösteren malzemelerdir. İçerik ve yapısal açıdan birbirinden farklı malzemelerin, kendine has özelliklerini koruyarak ve birbirleri içerisinde çözünmeyerek veya bütünleşmeyerek oluşturdukları yapılara karma malzemeler denilmektedir. Bu ayrı bileşenlerin özellikleri, karma malzemeye gerekli olan mekanik özellikleri ve sertlik değerlerini sağlamaktadır. Günümüzde bu tanım, takviye malzemesi olarak elyafların reçine matris içerisinde oluşturdukları yapılar olarak kabul edilse de, metal kaplı petek paneller de bu tanıma girebilmektedir [23].

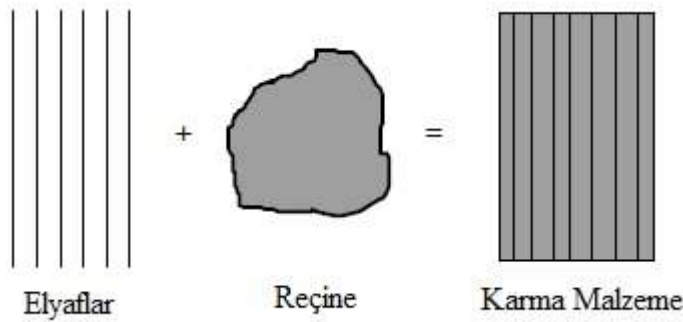
Karma malzemeler, doğada başka yolla bulunmayan malzeme özellikleri oluşturmaları dolayısıyla çekiciliğini korumaktadır. Özel birtakım uygulamalarda

daha düşük ağırlıklarla yüksek sertlik değerleri ve istenen diğer özellikleri elde eden malzemeler, bu sayede ağırlıktan ve enerjiden tasarruf sağlamaktadır. Elyaf takviyeli plastik karma malzemeler ilk olarak 1908 yılında fenolik içerisindeki selüloz elyafla başlamış, daha sonra üre ve melaminle devam etmiş ve 1940'lı yıllarda doymuş polyester içerisindeki cam elyafla birlikte ticari olarak kullanılan bir malzeme türü olmuştur. Karma malzemeler, gitar, tenis raketi ve otomobillerden, uçaklara, elektronik devre elemanlarına, yapay malzemelere kendine yer bulabilmiştir. Elyaf takviyeli karma malzemeler market olarak milyar dolarları aşan bir pazar payına sahiptir. % 95 oranıyla termoplastik ve termoset malzemelerle birlikte en çok kullanılan elyaf türü cam elyaftır. Araştırmacılar kimi karma malzeme uygulamalarında doğal elyafların sağladığı özellikler, cam elyafla sağlananlarla rekabet edebilir düzeye eriştiğini tespit etmişlerdir [24].

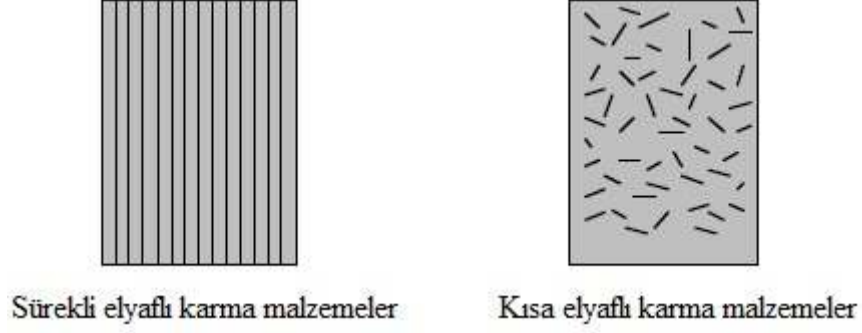


Şekil 2.1 : Elyaf takviyeli plastik karma malzemelerin kullanım alanları [24].

Karma malzemelerin ana özelliği matris ve takviye elemanlarından oluşmasıdır. Her iki malzemenin oluşumları Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmektedir [25].



Şekil 2.2 : Karma malzemenin oluşumu [25].



Şekil 2.3 : Sürekli ve kısa elyaflardan oluşan karma malzemeler [25].

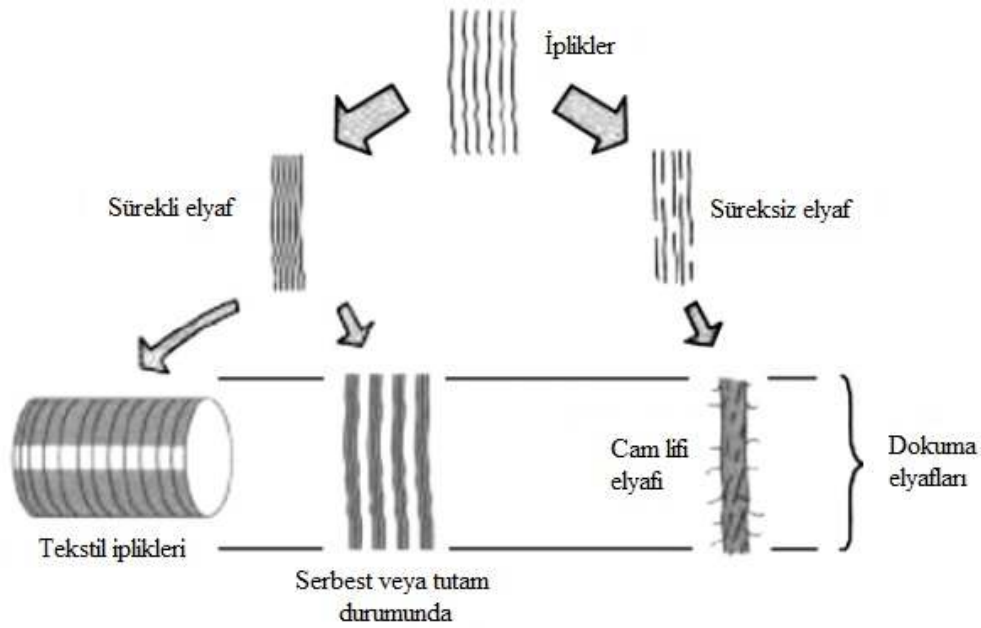
Takviyelendirilmiş beton, karma malzemeler için güzel bir örnektir. Oluşturdukları karma malzeme için çelik ve beton kendine has özelliklerini koruyarak yapıyı oluşturmaktadır. Birlikte çalışmalarına rağmen yapıdaki çelik çekme yüklerini, beton ise basma yüklerini karşılamaktadır [23].

Çizelge 2.1 : Bazı mühendislik malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri [25].

Malzeme	Yoğunluk (ρ) (g/cm ³)	Çekme Modülü (E) (Gpa)	Çekme Dayanımı (σ) (Gpa)	Birim Modül (E/ ρ)	Birim Dayanım (σ/ρ)	Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)
Metaller						
Dökme Demir	7,00	100	0,14	14,3	0,02	230-300
AISI 1045 Çeliği	7,80	205	0,57	26,3	0,073	500-650
Alüminyum 2024-T4	2,70	73	0,45	27	0,17	150-250
Alüminyum 6061-T6	2,70	69	0,27	25,5	0,1	150-250
Plastikler						
Naylon 6/6	1,15	2,9	0,082	2,52	0,071	75-100
Polipropilen	0,90	1,4	0,033	1,55	0,037	50-80
Epoksi	1,25	3,5	0,069	2,8	0,055	80-215
Fenolik	1,35	3	0,006	2,22	0,004	70-120
Seramikler						
Alümina	3,80	350	0,17	92,1	0,045	1425-1540
Magnezyum oksit	3,60	205	0,06	56,9	0,017	900-1000
Kısa Elyafli Karma Malzemeler						
Cam Elyafli Epoksi (%35)	1,90	25	0,3	8,26	0,16	80-200
Cam Elyafli Polyester (%35)	2,00	15,7	0,13	7,25	0,065	80-125
Cam Elyafli Naylon (%35)	1,62	14,5	0,2	8,95	0,12	75-110
Cam Elyafli Naylon (%60)	1,95	21,8	0,29	11,18	0,149	75-110
Tek Yönlü Karma Malzemeler						
S-camı Takviyeli Epoksi	1,81	39,5	0,87	21,8	0,48	80-215
Karbon Takviyeli Epoksi	1,59	142	1,73	89,3	1,08	80-215
Kevlar Takviyeli Epoksi	1,35	63,6	1,1	47,1	0,81	80-215

Yapısal uygulamalarda kullanılan karma malzemeler aşağıdaki özellikleri gösterirler:

1. Fiziksel olarak farklı, mekanik açıdan ayrılabilir iki ya da daha fazla malzemeden oluşurlar.
2. Farklı malzemelerin kontrollü ve homojen dağılımlı olarak birleşmelerinin sağlanacağı karışımlarla elde edilirler.
3. Karma malzemeyi oluşturan bileşenlerin kendi mekanik özelliklerinden daha iyi, hatta kimi durumlarda eşsiz özellikler ortaya çıkmaktadır. Bu özellik en iyi cam elyaf takviyeli plastiklerde görülür. Takviye malzemesi olan reçine matris zayıf, esnek ve kırılgan bir yapıda olup, cam elyaf sert ve kuvvetli bir yapıdadır. Fakat cam elyaf, gerilmeleri sadece tekli yapıda karşılayabilir. Basma gerilmesi altında, bir demet cam elyaf, reçine malzemeyle desteklenmediği durumda herhangi bir dayanım gösteremez. Reçine tarafından desteklenmiş elyaflar, kuvvetli, sert yapıda ve çok iyi derecede tokluk özelliklerine sahip olmaktadır [23].



Şekil 2.4 : Farklı elyaf biçimleri [26].

2.1 Karma Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Karma malzeme özelliklerinin metallerin özelliklerine 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 korozyon

dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da kullanıldığı alanlar için bir üstünlük sağlamaktadır.

Aşağıda bu malzemelerin avantajlı ve dezavantajlı kısaca ele alınmıştır. Karma malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde karma malzemeler metal malzemelerin yerlerini alabileceklerdir.

1. 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 verilebilmektedir. Böylece malzemedan tasarruf yapılarak daha hafifi ve ucuz ürünler elde edilebilmektedir.
2. Kolay şekillendirilebilme: Büyük ve karmaşık parçalar tek işlemle bir parça halinde kalıplanabilmektedir. Bu da malzeme ve işçilik açısından kazanç sağlar.
3. Elektriksel özellikler: Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip karma malzeme ürünleri elde edilebilir. Günümüzde büyük enerji nakil hatlarında karma malzemelere iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka yapılarda iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilir.
4. Korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet: Karma malzemeler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilere zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle karma malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır.
5. Isıya ve ateşe dayanıklılık: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen karma malzemelerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek sıcaklıklar altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu özel katkı maddeleri ile karma malzemelerin ısıya dayanımı artırılabilir.
6. Kalıcı renklendirme: Karma malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek bir masraf ve işçilik gerektirmez.

7. Titreşim sönümleme: Karma malzemelerin süneklik özelliği nedeniyle doğal bir titreşim sönümleme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak ilerlemesi olayı da böylece en aza indirilmiş olmaktadır.

Bütün bu olumlu yanların dışında karma malzemelerin uygun olmayan tarafları da şu şekildedir:

1. Karma malzemelerdeki hava boşlukları malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
2. Karma malzemeler değişik doğrultularda değişik özellikler gösterirler.
3. Aynı karma malzeme için çekme, basma, kesme ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
4. Karma malzemelerin delik delme, kesme türü işlemleri liflerde açılmaya neden olduğundan bu tip 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 teknelere, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar birçok sanayi kolundaki sorunları çözümleyecek bir malzemedir [27].

Karma malzemelerin ilave avantajları şu şekilde sıralanabilir:

1. Birim ağırlık başına daha yüksek performans göstermeleri yakıt sarfiyatını düşüren bir özellik olmaktadır. Karma malzemeler sayesinde mükemmel dayanım/ağırlık ve sertlik/ağırlık oranları sağlanabilmektedir. Bu özellik daha çok dayanımın yoğunluğa bölünmesiyle ve sertlik değerinin yoğunluğa bölünmesiyle ifade edilmektedir.
2. Tabakalı yapıların birleştirilmesiyle istenen mekanik özelliklerin farklı yönlerde de elde edilmesi sağlanmış olmaktadır.
3. Talaş kaldırma yöntemlerine ihtiyaç duyulmadan daha düz ve daha şekil verilebilir profiller elde edilmektedir. Kompleks çift eğriliğe sahip parçalar, yüzeyleri düzgün olarak sadece bir imalat işlemiyle oluşturulabilmektedir.
4. Gerekli olan parça sayısını azaltır.
5. Üretim masraflarını azaltır. Karma malzemeler çok geniş bir yelpazedeki üretim yöntemiyle oluşturulmaktadır.

6. Karma malzemeler korozyona, kimyasal bozulmalara ve dış hava şartlarına karşı yüksek direnç gösterirler. Boya çözücü gibi bazı kimyasallar karma malzemelere zarar verse de bu özelliği gidermek için yeni boya ve çözücü tipleri geliştirilmektedir. Bazı termoplastikler kimi çözücülere dirençli değildirler. Bu özellik için malzemelerin ilgili bilgi kartlarının incelenmesi gerekmektedir.

Karma malzemelerin özel birtakım uygulamalarda karşılaşılan dezavantajları şu şekildedir:

1. Karma malzemeler, dövme metallere göre daha kırılğındırlar, dolayısıyla daha kolay hasar görürler. Döküm metaller ise daha çok kırılğınlık eğilimindedirler.
2. Aşağıdaki nedenlerden dolayı karma malzemelerin onarımları yeni sorunlar çıkarabilmektedir.
 - a. Bazı karma malzemelerin soğutulmuş ortamlarda taşınmaları ve depolanmaları gerekmektedir, raf ömürleri sınırlıdır.
 - b. Onarımları sırasında yüksek sıcaklık gereklidir, dolayısıyla özel ekipmanlara ihtiyaç vardır.
 - c. Onarımları için, sıcak da olsa soğuk da olsa belirli bir zamanın geçmesi istenmektedir. Son perçinin atılması işin bittiğı anlamına gelmemektedir.
3. Perçinlerin atılıp daha sonra çıkarılmasının gerektiğı durumlarda, çıkarılması esnasında malzemeye ilave hasar verme olasılığı yüksektir.
4. Onarımlarında gerekli olan yüksek sıcaklık için özel ekipmanlara ve yüksek basınca ihtiyaç vardır.
5. Onarım öncesi malzemenin bütün kirleticilerden temizlenmiş olmaları gerekmektedir.
6. Onarım öncesi karma malzemeler iyi kurutulmalıdır, çünkü bütün reçine matrisler ve bazı elyafların nem tutabilme özellikleri mevcuttur [23].

2.2 Karma Malzemelerin Sınıflandırılması

Karma malzemeler üzerinde işlerliğini koruyan, malzemelerin doğaları ve yapılarının açıklanması şeklinde sınıflandırmalar yapılmaktadır. Malzeme yapılarına göre (metal-organik, metal-inorganik, vb.), bileşen fazların karakteristiklerine göre (matris

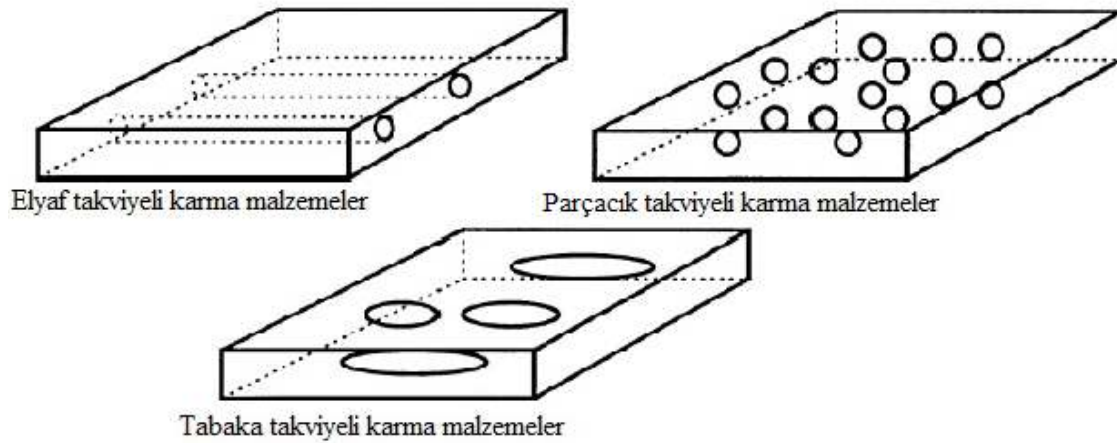
sistemleri, tabakalı yapılar, vb.), bileşenlerin dağılımları (sürekli, süreksiz, vb.), fonksiyonları (elektriksel, yapısal, vb.) ve özellikleri göz önüne alınarak karma malzemelerin çok değişik sınıflandırmaları yapılmaktadır.

Karma malzemeler, kullanılan matris malzemesine göre de üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla; polimer, seramik ve metal matrisli karma malzemelerdir [28].

2.2.1 Biçimlerine göre karma malzemeler

Karma malzeme yapıların takviye malzemesi şekline göre şu şekilde sınıflandırılmaktadırlar [28]:

1. Elyaf takviyeli karma malzemeler
2. Parçacık takviyeli karma malzemeler
3. Tabakalı karma malzemeler (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Takviye malzemesi şekline göre karma malzemeler [22].

2.2.1.1 Elyaf takviyeli karma malzemeler

Bu karma malzeme tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içerisindeki yerleşimi karma yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirine 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 eşir 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 elyafıya iletilen yük miktarı artmaktadır.

Karma yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağıdır. Matris yapısında boşluklar söz konusu ise elyafıya temas azalacaktır. Nem emişi elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir [28].

(a) Cam elyaf

Cam elyafı, dünyanın her yerinde kullanım amacına uygun nitelikteki alkali düşük “E” camının, 5-20 mikron çaplarında devamlı proses ile ince lifler halinde çekilmiş türüdür. 1940’lı yıllardan bu yana, değişik cam elyafı tipleri plastiklerin takviyesinde kullanılmaktadır.

Bu şekilde kırılma bir yapıya sahip olan plastiklerin çekme ve eğilme dayanımları, rijitlik ve darbe dayanımları gibi fiziksel özellikleri artırılabilir. Cam elyafı başlangıçta sadece termoset yapıdaki plastiklerin takviyesinde kullanılırken, günümüzde termoplastiklerin de takviyesinde hızlı bir büyüme göstermektedir.

Kompozisyonlarına bağlı olarak, değişik cam elyafı cinsleri vardır. Bunlar içinde “E” camı elyafının en başta geldiği görülmektedir. Elektrik ve mekanik özellikleri ile maliyetinin iyi bir denge oluşturması sonucu, bu kalsiyum alüminosilikat bileşiminin, kullanılan toplam cam elyafı takviye malzemeleri içinde %90 pazar payına sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 2.2) [29].

Çizelge 2.2 : Belli başlı cam elyaf tiplerinin özellikleri [29].

Cam Tipi	Özellikleri
A-camı	Yüksek alkali oranı-düşük maliyet
C-camı	Kimyasal dayanım (Yüzey tülleri)
E-camı	Elektriksel özellikler
L-camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M-camı	Yüksek elastik modül
S-2 camı	Yüksek çekme dayanımı
W-2 camı	Paneller için yarı şeffaf
AR-camı	Alkali dayanım
R-camı	Yüksek çekme dayanımı

“E-CR”camı, “E” camının modifiye edilmiş şekli olup, asitlere karşı dayanım sağlamak amacı ile kompozisyonunda bor içermemektedir. “E-CR” camı elyafı, genellikle kimyasal dayanım istenen tank ve boru imalatında kullanılmaktadır.

Yüksek mekanik dayanım aranan ürünler için kullanılan cam elyafı cinsleri Amerika’da “S” camı; Avrupa’da “R” camı olarak nitelenmektedir. Kompozitin mukavemetini ve rijitliğini arttıran bu cins cam elyafı havacılık, uzay ve askeri alanlarda, yüksek teknik performans gereksinimi nedeni ile kullanılmaktadır. Ayrıca, nakliye, spor ve dinlence alanlarında da bazı ürünler için kullanıldığı görülmektedir.

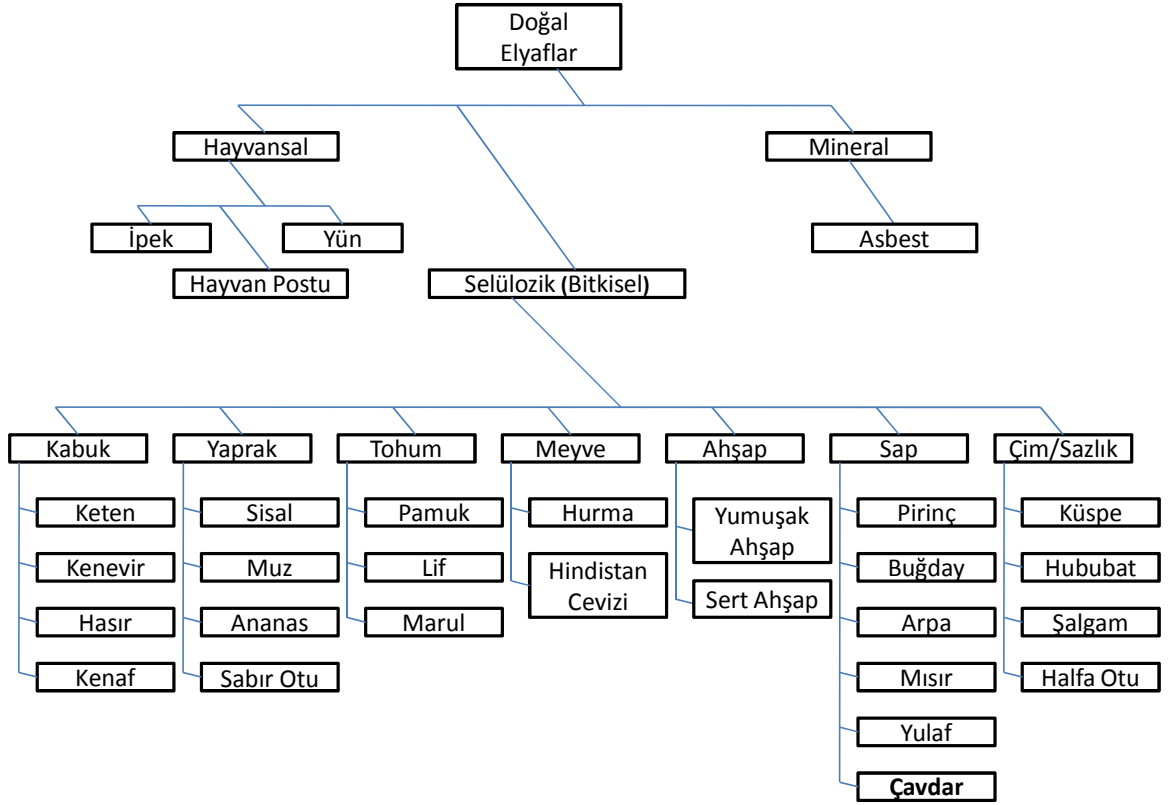
Bunların dışında, mükemmel dielektrik özellikler taşıyan ve elektronik endüstrisinde sıkça kullanılan, “D” camı elyafı ve özellikle yüzey tüllerinde kullanılan kimyasal dayanımlı “C” camı elyafı da bulunmaktadır [29].

Çizelge 2.3 : Başlıca cam elyafı türlerinin kompozisyonları (%) [29].

	A	C	E	R	S
SiO ₂	72	64,6	52,4	60	64,4
Al ₂ O ₃	1,5	4,1	14,4	25	25
CaO	10	13,4	17,2	9	-
MgO	2,5	3,3	4,6	6	10,3
Na ₂ O, K ₂ O	14,2	9,6	0,8	-	0,3
B ₂ O ₃	-	4,7	10,6	-	-
BaO	-	0,9	-	-	-

2.2.1.2 Doğal elyaf takviyeli karma malzemeler

Doğal elyaflar, geleneksel takviye malzemeleri ile oluşturulan elyaflardan üstün özellik göstermeleri bakımından son yıllarda, bilim adamlarının ve araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Son birkaç yıldır doğal elyaflı karma malzemelerin geliştirilmesi üzerine birçok araştırma yapılmaktadır [30].



Şekil 2.6 : Doğal elyafların sınıflandırılması [31, 32].

Doğal elyaflar düşük yoğunluk ve yüksek özgül özellikli, düşük maliyetli elyaflardır. Bunlar diğer katkı elyaflarının aksine biyolojik olarak çözünebilirler ve aşındırıcı olmayan özelliğe sahiptirler. İşlem için herhangi bir ön hazırlığa gerek olmayışı ve özgül özellikleri bakımından takviye için kullanılan diğer elyaflarla karşılaştırılabilmektedir. Bunların yanında su geçirmez polimer matrisli yapılarla göstermiş olduğu uyumsuzluk, üretim işlemi sırasında düzgün yüzey elde edememe eğilimi ve neme zayıf direnç göstermesi polimerler içerisinde takviye olarak kullanılan doğal elyafların performanslarını düşüren etkenler olarak sayılabilmektedir [30].

2.2.2 Matris malzemesine göre karma malzemeler

Matris malzemeleri karma malzeme yapısında genel olarak takviyeyi çevresel ve kimyasal etkilerden korumaktadır. Bunun dışında elyafların yük taşıma kapasitesinin maksimum olması için matrisin elyaftan daha yüksek uzama ve daha düşük modül değerlerine sahip olması gerekmektedir [25]. Bu nedenlerden dolayı kullanım yerine

göre farklı türde malzemeler matris olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler üç başlık altında incelenebilmektedir:

- Polimer matrisler
- Seramik matrisler
- Metal matrisler

2.2.2.1 Polimer matrisli karma malzemeler

Polimer karma malzemelerde kullanılan en önemli bağlayıcı malzemeler polyester, epoksi ve polietilendir. Pekiştirici elyafların miktarı arttıkça karma malzemenin mukavemeti yükselir. Polimer karma malzemelerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/ özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülüdür. Dolayısıyla bu özelliklerden dolayı diğer malzemelere üstün durumundadırlar. Örneğin yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 Nm/gr olmasına karşın cam lifi-polyesterlerde 620 Nm/gr dır. Diğer taraftan karbon elyafı epoksidede 700 Nm/gr ve kevlar epoksidede 886 Nm/gr'dır. Diğer taraftan karbon elyaflarının özgül elastisite modülü alüminyumun modül değerinin 5 katı kadardır. Bu üstünlüklerinden dolayı polimer karma malzemeler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına tercih edilmektedirler [33].

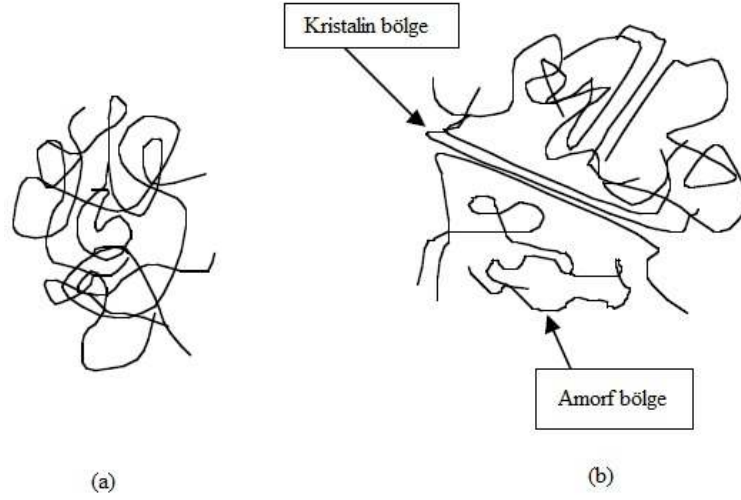
Çizelge 2.4 : Polimer matrisli karma malzemelerin özellikleri [33].

Malzeme	Özgül ağırlık gr/cm ³	Çekme mukavemet N/mm ²	Elastik mukavemet N/mm ²
Cam lifi – polyester	1,5 – 2,1	200 – 340	55000 – 130000
Karbon lifi – epoksi	1,5 – 1,8	1860	145000
Kevlar – epoksi	2,36	2240	76000
Boron lifi - epoksi	1,4	1240	176000

2.2.2.2 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 korurlar. Bu plastikler, özelliklerinde önemli değişiklikler olmadan defalarca ısıtılarak yeni şekillere sokulabilirler. Termoplastik moleküllerde çapraz bağ

oluşumu gözlenmemektedir, dolayısıyla esnek ve şekillendirilebilir yapıdadırlar. Termoplastik malzemeler Şekil 2.10’da görüldüğü gibi amorf ya da yarı-kristallin yapıda bulunmaktadır [34]:



Şekil 2.7 : Termoplastiklerin molekül yapısı; (a) Amorf, (b) Yarı-kristalin yapı [25].

Amorf yapıdaki termoplastiklerde molekül düzeni gelişigüzel iken yarı-kristalin yapıdaki plastiklerin kristal bölgeleri ise düzenli bir biçimdedir. Moleküllerin karışık yapısından dolayı plastiklerde % 100 kristal yapı elde etmek mümkün değildir [25]. Belli başlı termoplastik matrislerin genel özellikleri Çizelge 2.3’te gösterilmektedir.

Çizelge 2.5 : Tipik termoplastik reçine özellikleri [25].

Matris malzemesi	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı Mpa	Çekme Modülü Gpa
Naylon	1,1	55-90	1,3-3,5
PEEK	1,3-1,35	100	3,5-4,4
PPS	1,3-1,4	80	3,4
Polyester	1,3-1,4	55-60	2,1-2,8
Polikarbonat	1,2	55-70	2,1-3,5
Asetal	1,4	70	3,5
Polietilen	0,9-1,0	20-35	0,7-1,4
Teflon	2,1-2,3	10-35	-

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 göstermektedirler ve kimyasallara karşı daha az dayanıklıdırlar. Termoplastik malzemelerin birbirleriyle kaynak-bağlantı yapabilmesi termoset malzemelere oranla daha kolaydır. Termoplastik karma malzemeler termosetlere kıyasla daha yüksek

sıcaklık ve basınçta şekillendirilebilirler. Günümüzde termoplastik malzemeler termoset malzemelere göre karma malzeme imalatında karşılaşılan birtakım problemlerden dolayı daha az kullanılabilmektedir [34].

(a) Düşük yoğunluklu polietilen (DYPE)

Kimyasal olarak en basit ancak en son bulunan plastiklerden birisi olan polietilen, sağlam, esnek, 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, etilenin polimerleştirilmesiyle elde edilir ve genel olarak film, boru, kablo ve muhtelif amaçlı plastik kapların yapımında kullanılır. DYPE geniş bir sıcaklık aralığında hem kuvvetli hem de esnek olabilme özelliği taşır [35].

DYPE bir otoklavda veya boru tipi tübüler reaktörde, etilen monomerlerinin 1200-1300 atm basınçta ve 130-350°C sıcaklıkta, organik peroksitlerin yardımıyla polimerizasyonundan elde edilir. DYPE'nin yoğunluğu 0,910-0,925 g/cm³ arasında değişmektedir [36].

DYPE'nin tüm kullanımları için tüketimi 140 bin tonu bulmuştur. DYPE'nin en önemli kullanım alanı film üretimidir. Öyle ki film üretimindeki kullanımı, toplam kullanımının %90'nını oluşturmaktadır. Film kullanımının % 50'si gıda ve endüstriyel ürünlerin paketlenmesinde ve geriye kalan diğer kısım ise tarım alanında kullanılmaktadır [35].

Polietilenlerin genel özellikleri şu şekilde sıralanmaktadır:

- Sağlamdırlar,
- Asit, baz ve çözücülere dayanıklıdırlar,
- Dielektrik özellikleri üstündür,
- Çevre şartlarına dayanıklıdır,
- Kolay işlenebilirler [36].

Zincirdeki dallanmalar kristalliğin derecesini tayin eder. Yüksek yoğunluklu polietilende (YYPE) dallanma çok az olup, molekül yapısı lineerdir. Kristallik arttıkça sertlik atar, 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. YYPE'ne bağlanmada organik peroksitler kullanılır [35].

Polietilen, yüksek ve alçak basınç prosesleri olmak üzere belli başlı iki temel yöntemle üretilir. Yüksek basınç prosesi ile düşük yoğunluklu polietilen ve kopolimeri, düşük basınç prosesiyle ise YYPE ve yeni geliştirilmiş olan lineer düşük yoğunluklu polietilen (LDYPE) 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 moleküler yapıya sahip olup yoğunlukları 0,940-0,965 g/cm³ arasında değişmektedir.

Orta yoğunluklu polietilenin (OYPE) yoğunluğu 0,926-0,940 g/cm³ arasında olup yüksek veya alçak basınç prosesi ile DYPE ve YYPE'nin fiziksel karışımı olarak elde edilir [37].

Polietilenin işleme teknikleri şu şekildedir:

- Film ekstrüzyon (YYPE'de az olmakla birlikte DYPE'nin en yaygın işleme alanıdır.)
- Ekstrüzyon kalıplama,
- Şişirme ile kalıplama,
- Sıcak eriyik kaplamaları ve yapıştırıcılar,
- Toz kaplamalar,
- Tel ve kablo imali [37].

2.3 Polimer Matrisli Karma Malzemelerin İmalat 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. Başlıca imalat yöntemleri seçim kriterleri Çizelge 2.6’da gösterilmektedir [34].

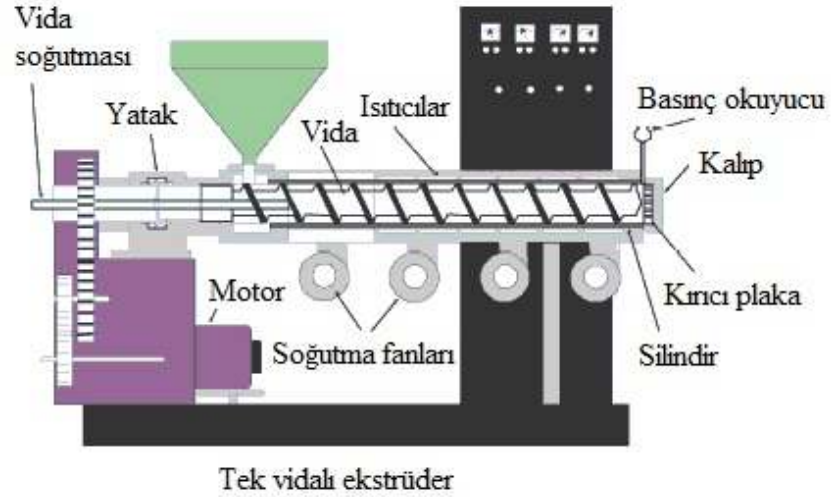
Çizelge 2.6 : Polimer matrisli karma malzeme imalat yöntemleri kriterleri [34].

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 Ekstrüzyonla kalıplama

1940-1950 yıllar arasında sentetik esaslı polimerlerin olağanüstü hızlı bir şekilde gelişmesi ve üretilmesi, bunların işlenmesi için de bir sektör oluşturulmuştur. Polimerlerin elde edilmesi ve bunların işlenmesi, birbiriyle ilişkili olduğundan polimer işleme endüstrisi de hızlı bir gelişme göstermiştir. Polimer işleme endüstrisi, kimyasal işlemle elde edilen polimerin ısı 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 silindir ve içinde dönen vidadır ve bu proses günümüzün en önemli polimer işlem tekniğidir. Polimerlerin yaklaşık %60 ‘i bu yöntemle işlenerek son ürün halini alır.

Latince olan ‘extrude’ kelimesi ‘ex’ (dışarı) ve ‘trude’ (itmek) kelimelerinin birleşmesiyle oluşur. Ekstrüder ise anlaşılacağı üzere bir malzemeyi cebri olarak iterek dışarı sevk eden bir makina olarak düşünülebilir. Vidalı ekstrüder, katı polimeri etkin ve kesintisiz bir şekilde eriyik haline getirir ve yüksek vizkositedeki eriyiği pompalayarak basınç altında çıkışa gönderir. Ekstrüzyon prosesi sonunda polimerin kimyasal özelliklerinde önemli bir değişiklik görülmemektedir [35].



Şekil 2.8 : Tek vidalı bir ekstrüderin şematik gösterimi [38].

Polimerlerin işlenmesi eriyik ve plastik ekstrüzyonu ile yapılmaktadır. Polimer, ekstrüdere eriyik halinde beslenmişse eriyik ekstrüzyonu söz konusudur. Bu şekildeki ekstruderler bir tek bölgeye sahiptir. Bu da eriyik taşıma bölgesidir. Plastik ekstrüzyonu ise katı polimeri eritmek suretiyle yapılan ekstrüzyon işlemidir. Polimer elde edildikten sonra katı hale getirilip depolanır veya filament üretimi için başka tesislerde işlenir. Bu ekstrüzyon işlemine plastikleştirici ekstrüzyon denilmektedir.

İşlenecek katı polimerler cips, toz veya küçük tanecikler halinde üretilirler. Polimerin verimli bir şekilde işlenmesine yardımcı olan; antioksidant, plastikleştirici madde, pigment, yağlayıcı madde gibi yardımcı maddeler de cips besleme haznesinden ekstrüdere verilebilir. Ekstrüderde işlenecek olan polimerin fiziksel özelliklerini etkileyen ve değiştirebilen bu yardımcı maddeler hidrodinamik ve termodinamik özellikleri etkilediğinden ekstrüderin teorik olarak analizinde polimere olan etkileri ihmal edilmektedir.

Ekstrüderin performansı büyük ölçüde vida tasarımına ve çalışma koşullarına bağlıdır. Vidanın temel geometrik değişkenleri: vida sayısı ve geometrisi, kanal derinliği ve ekstrüder boyunca derinlik değişimi, vida ile silindir arasındaki radyal açıklık olarak gösterilebilir. Vida ve silindirin malzemesi çeliktir ve aşınmaya karşı sertleştirilebilir [35].



Şekil 2.9 : Farklı dizaynlara sahip ekstrüder vidaları [39].

Tek vidalı ekstrüderlerde, polimer malzemesine ve istene çıkış özelliklerine göre eritme ve basınç bölgeleri daha uzun olabilirken iki veya daha fazla vidanın bir arada kullanıldığı ekstrüderlerde bölüm sayıları birden fazla (örneğin iki eritme bölgesi, iki basınç bölgesi) olacak şekilde dizayn edilebilmektedir. Ekstrüder işlemi sırasında kontrol edilmesi gereken önemli değişkenler vida hızı, silindir sıcaklığı ve çıkış basıncı olarak gösterilebilir. Vida hızı ekstrüderin büyüklüğüne ve üretim kapasitesine bağlıdır.

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

Ekstrüzyonda temel işlem değişkenleri vida hızı ve sıcaklık değişimidir. Temel konstrüksiyon parametreleri ise vida uzunluğu (L) ve çapı (D) olup bunların oranı (L/D) ekstrüder karakteristiğini belirlemektedir. L/D büyük ölçüde ekstrüderden çıkışı, polimer çıkış süresini ve polimer ısı transferi için uygun silindir yüzeyini belirler. Ekstrüder tasarımı yapılırken vida geometrisi önemli olmaktadır [35].

Taşıma bölgesinden basınç bölgesine geçiş cips veya granül halindeki katı polimerin ısıtılmış silindir ve erimiş polimerlerle ısıl temasa geçerek iletim yoluyla ısınması ve erimesi sonucu kademeli olarak gerçekleşir. Polimerin ısıtıcı elemen olan silindir ile temas ettiği yerlerde eriyerek ince film tabakası oluşturduğu ve silindir-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 tedrici bir şekilde hacmini artırır ve katı polimeri hapsederek basınç bölgesine yakın vida kanalında tamamen eriyik halini alır [35].

3. DOĞAL ELYAFLARIN OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDEKİ YERİ

Doğal elyafların araştırma alanları, cam elyafla olan rekabetçi özellikleri dolayısıyla giderek genişleyerek devam etmektedir. Bu tip elyaflardan oluşan karma malzemelerin kullanımının arttığı en önemli alan otomotiv sanayisidir. Doğal elyafların kullanımının artışı önümüzdeki dönemlerde yıl bazında % 54 olarak beklenmektedir. Geçtiğimiz on yılda, biyolojik elyaflar Avrupalı otomobil üreticileri tarafından kapı panellerinde koltuk sırtlıklarında, iç taban döşemelerinde, ön konsollarda ve yalıtım malzemelerinde kullanılmıştır [40].

Çizelge 3.1 : Doğal elyaf kullanılan parçalar, otomobil üreticileri ve modelleri [40].

Otomotiv üreticisi	Model ve uygulamaları
Audi	A2, A3, A4, A4 Avant, A6, A8, Roadstar, Coupe: Koltuk sırtlığı, yan ve arka kapı panelleri, bagaj kaplaması, yedek lastik kaplaması
BMW	3,5 ve 7 serileri ve diğerleri: Kapı panelleri, tavan döşemesi, bagaj kaplaması, koltuk sırtlığı,
Daimler-Chrysler	A,C, E ve S sınıfı: Kapı panelleri, ön cam/ön konsol, iş masası, kolon kaplama paneli; A Sınıfı, Travego Otobüsü: Alt dış gövde koruma döşemesi; M Sınıfı: Enstruman paneli (S Sınıfında 27 adet parça doğal elyaftan yapılmaktadır ve toplam ağırlığı 43 kg'dir.)
Fiat	Punto, Brava, Marea, Alfa Romeo 146, 156
Ford	Mondeo CD 162, Focus: Kapı panelleri, B-kolonu, bagaj kaplaması
Opel	Astra, Vectra, Zafira: Tavan döşemesi paneli, kapı panelleri, kolon kaplama panelleri, enstruman panelleri
Peugeot	Model 406
Renault	Clio
Rover	Rover 2000 ve diğerleri: Yalıtım, arka depolama rafı/paneli
Saab	Kapı panelleri
Seat	Kapı panelleri, koltuk sırtlığı
Volkswagen	Golf A4, Passat Variant, Bora: Kapı panelleri, koltuk sırtlığı, bagaj kapağı kaplaması, bagaj döşemesi
Volvo	C70, V70
Mitsubishi	Space Star: Kapı panelleri; Colt: Enstruman paneli

Dünyadaki otomotiv endüstrisi, pazarda rekabetçi bir konumda kalabilmek için kalitenin sabit kalarak maliyetlerin düşürülmesi üzerine çalışmaktadırlar. Geri

dönüşebilen kaynakların ve malzemelerin kullanım ömürlerinin sonunda geri dönüşüm ve biyolojik ayrışabilirlik özelliklerinin giderek öneminin artması, otomotiv uygulamalarında petrol bazlı sentetik malzemelerin yerini tarım bazlı doğal elyafların almasını sağlamaktadır. Çevresel şartlar açısından bu durum hem daha az malzeme atığı çıkmasını hem de yakıt tüketim oranlarının düşmesini sağlamaktadır. Otomotiv endüstrisindeki asıl sorun olan cam elyaf kullanılan parçaların kullanım ömürlerinin tamamlanmasının ardından ne yapılacağıdır. Bu açıdan geri dönüşüm özelliği olan biyolojik doğal elyaflar için bu durum büyük avantaj sağlamaktadır [40].



Şekil 3.1 : Doğal elyaf malzemelerden üretilmiş Mercedes-Benz E Sınıfı otomobil parçaları [41].

Kyoto Protokolü, dünyada giderek daha çok ülke tarafından imzalanan ve ülkelerin toplam karbon emisyon miktarlarını düşürmeyi taahhüt ettikleri bir sözleşmedir. Yakıt tüketimi ise otomobillerdeki karbon emisyon miktarının başlıca sebebi olduğu için araçların daha hafif malzemelerden üretilmesi bu açıdan tüketim değerlerinin düşmesine neden olmaktadır [40].

Çizelge 3.2 : Otomotiv parçalarında kullanılan doğal elyafların tipik ağırlıkları [40].

Otomotiv parçaları	Tipik elyaf ağırlıkları
	kg
Ön kapı kaplamaları	1,2-1,8
Arka kapı kaplamaları	0,8-1,5
Bagaj döşemeleri	1,5-2,5
Üst paket rafları	2 (maks.)
Koltuk sırtlıkları	1,6-2,0
Açılır tavan kızakları	0,4 (maks.)
Ses/Titreşim/Sertlik malzemesi	0,5 (min.)
Tavan döşemesi	2,5 (ort.)

3.1 Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Elyafların Özellikleri

Doğal elyaf dünyasında üzerine en çok araştırma yapılan özellikler dayanım ve sertlik özellikleridir. Selüloz, daha düşük ağırlıklarda daha yüksek dayanım ve sertlik değerleri sağlayan doğal bir polimer olup, uzun elyafların üretiminde kullanılmaktadır. Bu yapısal hücreler bitkilerin saplarında, yapraklarında ve tohumlarında bulunmaktadır. Genel olarak elyaf, sap tarafından çevrelenmiş odun çekirdeğinden oluşmaktadır. Sap kısmın içerisinde farklı elyaf hücreleri ve elyaf iplikçikleri bulunan elyaf demetleri bulunmaktadır. Selüloz ve hemiselülozdan oluşan iplikçikler, birbirlerine lignin ya da pektinden oluşan matris yapıyla birleşmektedirler. Bu matrisler demetleri sapların içerisinde bir arada tutmaktadırlar [40].

Çizelge 3.3 : Ticari olarak kullanılan önemli elyaflar [40].

Elyaf	Türü	Dünya üretimi	Köken
		(1.000 ton)	
Odun	> 10.000 tür	1.750.000	Sap
Bambu	> 1.250 tür	10.000	Sap
Pamuk tiftiği	Gossypium sp	18.450	Meyva
Hint keneviri	Corchorus sp	2.300	Sap
Kenaf	Hibiscus cannadbinus	970	Sap
Keten	Linum usitatissimum	830	Sap
Sabır ağacı	Agave sisalana	378	Yaprak
Kendir	Cannabis sativa	214	Sap
Hindistan cevizi	Cocos nucifera	100	Meyva
Rami	Boehmeria nivea	100	Sap
Kenevir muzı	Musa textiles	70	Yaprak

Otomotiv sektöründeki doğal elyaf kullanımındaki istikrarlı büyümenin başlıca nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir:

- % 10-30 oranlarında ağırlıktan kazanç sağlamaları,
- İyi mekanik ve imalat özellikleri göstermeleri,
- Tek bir işlemle karmaşık şekillerdeki malzemelerin üretilmesi,
- Yüksek fiziksel kararlılık ve minimum dağılma özellikleriyle daha iyi darbe dayanımı göstermeleri,
- Cam elyafa göre montaj ve taşıma uygulamalarında iş sağlığı açısından avantajlı oluşu,
- Cam elyafın aksine hurdalarının tekrar kullanılabilmesi,
- Isıyla karşılaştıklarında zehirli gazlar çıkarmamaları,
- Sürdürülebilir, yenilenebilir hammadde kaynakları açısından iyi “yeşil” referansa sahip olmaları,
- Malzeme ve enerji kullanımında yüksek çevreci dengeye sahip olmaları,
- Enerji açısından eritilerek veya tekrar taşlanabilir olarak geri dönüşüm imkanlarının oluşu,
- Geleneksel konstrüksiyonlara göre maliyet avantajları olması [40].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Atık Kumaş ile Takviyelendirilen Termoplastik Malzeme Ekstrüzyonu

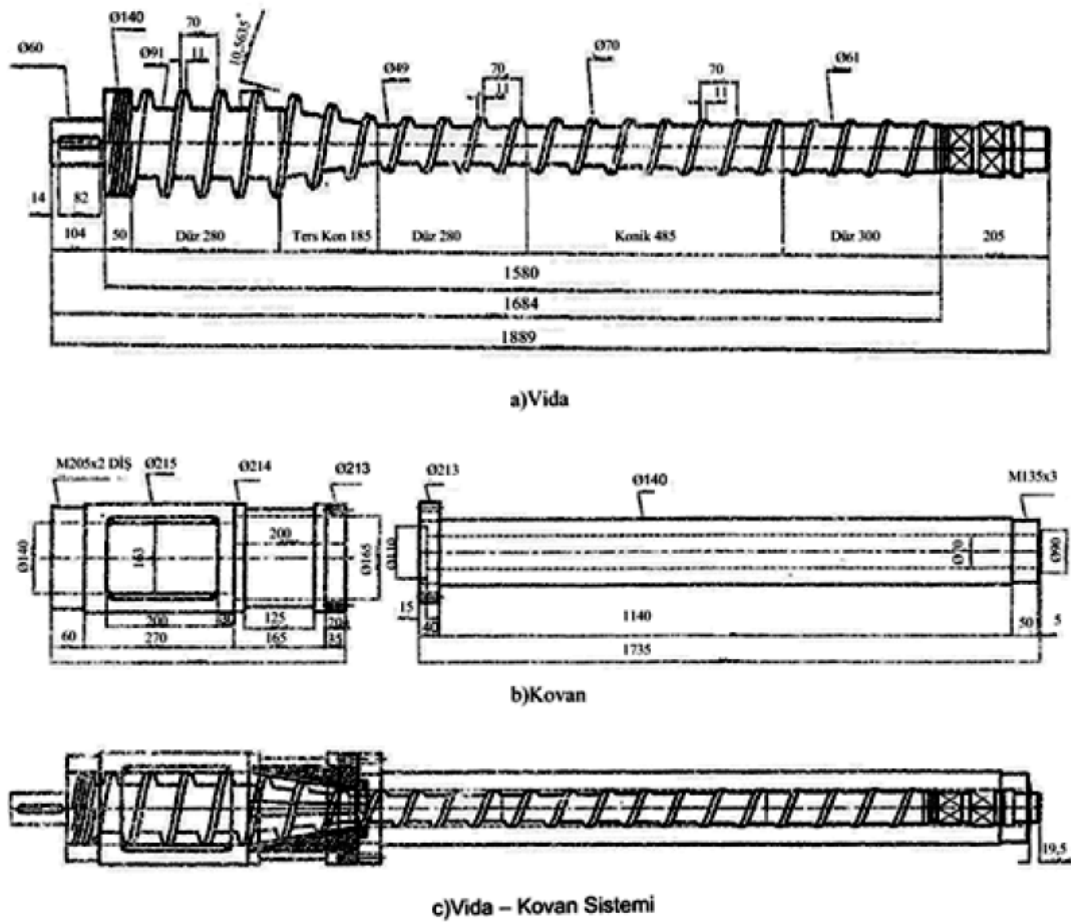
Çalışma kapsamında takviye malzemesi olarak tekstil atığı ürünlerin kullanıldığı polimer matrisli karma yapıların oluşturulması hedeflenmiştir.

Üretilen karma yapılar, Ün-Mak AŞ firması tarafından özel imal edilen tek vidalı ekstrüderde termoplastik polimer granülleri ile takviye pamuklu kumaş kullanılarak oluşturulmuştur. İlgili ekstrüzyon hattı Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Çalışmada kullanılan ekstrüzyon hattı.

Çalışmada kullanılan ekstrüder vida-kovan sistemi Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2 : Ekstrüder Vida-Kovan Sistemi [34].

Çalışmada kullanılan ekstrüdere ait teknik özellikler Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Karma malzeme üretiminde kullanılan ekstrüderin özellikleri [34].

Vida-Kovan	ø70 x 140 kovan vidası
Kovan Rezistansları	1600 W değerinde 9 rezistans (3 bölge şeklinde) ve trifaze fanlar
Ana Motor	30 kW 1500 dev/dk
Vida Devri (maksimum)	90 dev/dk
Levha Kalıbı	400 x 8 mm kesit açıklığına sahip levha kalıbı

Çalışmada doğal elyaf takviye malzemesi olarak tekstil atığı pamuklu kumaşlar kullanılmıştır. Kumaş numuneleri, reaktif boyalı ribana örgülü 30 Ne iplikten üretilmiş % 100 pamuklu kumaşlardan seçilmiştir. Kumaşların ekstrüzyon işlemine hazırlanması aşamasında, muhtemel ekstrüder vida kovan arasında sarılma ve sıkışmalar ile levha kalıbındaki tıkanmaların önlenmesi amacıyla, Balkan DT10 marka şifanöz makinasında geri dönüşüm işlemine tabi tutularak pamuk haline getirilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Tekstil atığı pamuklu kumaş numuneleri.

Karma malzeme yapısında matris malzemesi olarak Petkim G-03 marka düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) granülleri kullanılmıştır. Kullanılan termoplastik malzemeye ait özellikler Çizelge 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Düşük yoğunluklu G03-5 polietilenin özellikleri [42].

Özellikler	Standart	Birim	DYPE G03-5
Erime Akış Hızı (190° 2160g)	ASTM D-1238	gr/10 dk.	0.30
Yoğunluk (23°C)	ASTM D-1505	gr/cm ³	0.920
Film Kalitesi	ALKT-36	-	T
Pusluluk	ASTM D-1003	%	9.3
Parlaklık	ASTM D-2457	-	57
Şişme Oranı	ALKT-7	-	1.41
Erime Noktası (DSC)	ASTM D-3417	°C	110
Vicat Yumuşama Noktası	ASTM D-1525	°C	98
Akmada Gerilme Dayanımı	ASTM D-638	MPa	9.3
Kopmada Gerilme Dayanımı	ASTM D-638	MPa	18.6
Kopmada Uzama	ASTM D-638	%	640
Sertlik (Shore D)	ASTM D-1706	-	47
Parlama Sıcaklığı	ASTM E-136	°C	340
Camlaşma Geçiş Sıcaklığı	ASTM D-746	°C	< -118
Termal Genleşme Katsayısı	ASTM D-696	K ⁻¹	10 x 10 ⁻⁵

Karma malzemenin ekstrüderde üretimi sırasında uygulanan sıcaklıklar Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Ekstrüderde eriyik hale gelen karma malzeme merdaneler arasından geçirilerek küçük parçalar haline getirilmiştir. Bu parçalar daha sonra kırıcıda (granilatör) parçalanarak tekrar ekstrüzyona beslenirler. Bu şekilde takviye malzemesiyle matris malzemesinin homojen şekilde karışması sağlanmıştır. Çalışmada kırma işlemi 3 kez tekrarlanmıştır.

Çizelge 4.3 : İmalat değişkenleri.

Malzeme	Isıtıcı 1 (°C)	Isıtıcı 2 (°C)	Isıtıcı 3 (°C)	Kalıp Isıtıcısı (°C)	Ekstrüder Vida Hızı (dev/dk)
Takviyesiz DYPE	175	180	185	190	30
Karma Malzeme	185	190	195	200	30

Son kırma aşamasından sonra eriyik haldeki karma malzeme merdanelerden geçirilerek preslenmeye hazır hale getirilirler. Merdanelerden çıkan malzemeler etüve alınır. Önceden 190°C sıcaklığa getirilmiş olan etüvde yaklaşık 15 dakika bekletilen tabakalar soğumalarına izin verilmeden hidrolik pres altına konularak 4000 kg kuvvet altında preslenerek plakalar oluşturulmuştur. Malzeme pres altında yaklaşık 20 dakika bekletilerek soğuması sağlanmış ve böylece malzemenin boyutsal kararlılığı sağlanmıştır. Merdaneler arası mesafe 5 mm'ye ayarlanmış olup, pres sonrası elde edilen karma malzeme kalınlıkları 5-7 mm arasında değişmiştir.



Şekil 4.4 : Çalışmada kullanılan malzemeler.

Karma malzeme üretiminin temel aşamaları şu şekilde sıralanmaktadır:

- Takviye malzemesi olarak kullanılacak pamuklu kumaşlar, karma malzeme üretimi sırasında belirli bölgelerde yoğunlaşmaması ve ekstrüderde herhangi bir sarılmaya, tıkanmaya mahal vermemesi amacıyla şifanöz makinasında geri dönüşüm işlemine tabi tutularak ekstrüderde üretilebilir hale getirilmiştir.
- Ekstrüder çalıştırıldıktan sonra, kullanılacak polimerin türüne bağlı olarak, ekstrüderdeki her üç ısıtıcının ve kalıp ısıtıcısının sıcaklıkları ayarlanır. Sıcaklıklar, kontrol panelinde mevcut bulunan ekranlara girilmek suretiyle sisteme girilmiştir (Şekil 4.5). Kontrol panelinde ısıtıcıların ve levha kalıbının

sıcaklık kontrolü ile vidanın ve merdanelerin hız kontrolü yapılabilmektedir. Ekstrüderin istenilen sıcaklıklara gelmesi için yaklaşık 45-50 dakika süre beklenmiştir. Sıcaklıklar yerine geldikten sonra "Isılar Oturdu" butonuna basılıp ekstrüder vidasının dönmesine ve merdanelerin çalışmasına yol verilmiştir.



Şekil 4.5 : Ekstrüder kontrol paneli.

- İstenilen takviye ağırlık oranına göre uygun miktarda kumaş iplikleri ve polietilen granülleri tartılır.
- Pamuklu kumaş ve polimer granülleri ekstrüderin besleme haznesinden vida hızına uygun olarak elle ayrı ayrı olarak beslenir. Malzemenin yüklenmesi bu şekilde toplam mekanik davranışı etkileyen bir faktördür. Çalışmada insan faktörü kaynaklı, malzemelerin ekstrüderde bölgesel toplanma etkisini azaltmak için dökülen malzeme üç defa kırma işleminden geçirilmiş, bu sayede karma malzemenin özelliklerinin homojenliği sağlanmıştır (Şekil 4.6).



a) 3. kırım sonrası malzeme beslenmesi



b) 3. kırım sonrası malzeme ilerlemesi

Şekil 4.6 : Malzemenin ekstrüdere beslenmesi.

- Levha Kalıbı ısıtıcısında 190°C 'ye ulaşan karma malzeme, 400 mm eninde ve 8 mm kalınlığındaki kalıptan çıkarak merdanelere verilir (Şekil 4.7). Merdanelerde 5 mm kalınlığa düşürülen malzeme farklı test numuneleri için tabaka halinde kesilir.



Şekil 4.7 : Malzemenin merdaneler arasından geçişi.

- Kesilen malzemeler, farklı tabakalı karma malzeme numuneleri oluşturmaları amacıyla aşağıdaki şekillerde kullanılmışlardır:
 - İki karma malzeme arasına, $90^{\circ}/0^{\circ}$ örme cam elyaf tabakası konularak,
 - İki karma malzeme arasına, boyları 3-5 mm arasında değişen serbest cam elyafları konularak,

- İki karma malzeme arasına, hiç elyaf konulmayarak deney numunesi plakaları oluşturulmuştur.
- Bu plakalar daha önceden 200°C sıcaklığa ısıtılmış etüve alınır. Etüvde 15 dakika bekletilen malzemeler soğumalarına izin verilmeden hidrolik pres altına alınırlar.
- Etüvden sonra hidrolik prese alınan malzemeye 4000 kg'lık bir basınç uygulanarak 15-20 dakika boyunca plakaların soğuması beklenir. Plakaların basınç altında bekletilmesi, soğuma esnasında karma malzemede görülen çarpılmalar ve şişme olayı engellenmiş olmaktadır.

İlk ekstrüzyon üretimi aşamasında çıkan malzemeler daha sonra kademeli olarak kırma işlemine tabi tutulup tekrar ekstrüzyon üretimine verilmiştir. Şekil 4.8'de görüldüğü üzere 3. kırım işleminden sonra çok daha iyi takviye malzemesi dağılımına sahip bir karma malzeme elde edilmiş olur.



a) Kırım işlemi yapılmamış plaka



b) 3. kırım sonrası üretilen plaka

Şekil 4.8 : Kırma işlemine bağli olarak üretim sonrasında elde edilen plakalar.

4.1.1 İmalat değişkenleri

Üretim sırasında karma malzeme numunelerinin özelliklerini etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Bu etkenlerin değişkenliği bütün numunelerin üretiminde sabit tutulmuştur.

4.1.1.1 Kalınlık kontrolü

Ekstrüderden çıkan malzeme plakalarının kalınlıklarına etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır:

- **Isıtıcı sıcaklıkları:** Ekstrüder içerisinde mevcut üç ısıtıcı ve levha kalıbı ısıtıcısının sıcaklıkları kullanılan polimer tipine göre değişiklik göstermektedir.

Sıcaklık değerlerinin artması malzeme akışkanlığını arttıran bir özelliktir. Yüksek sıcaklıklarda üretilen malzemeler daha geç soğumakta ve presle şekillendirilme özelliği artmaktadır.

- **Ekstrüder vida hızı:** Vida dönme hızı, besleme haznesinden beslenen malzemenin hızını, ekstrüderin kapasitesini ve levha kalıbından çıkma hızını etkilemektedir. Yüksek vida hızları, beslenen malzemenin hızının yetersiz oluşuna, ekstrüder kapasitesinin düşmesine ve levha kalıbından çıkan malzemenin hızının yüksek oluşuna dolayısıyla merdane hızının yetersiz oluşuna neden olmaktadır. Bu durum, levha üretiminde çeşitli sorunların yaşanmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla vida hızı, malzeme besleme hızı ile kalıp çıkış hızını göz önüne alınarak çok iyi ayarlanmalıdır.
- **Levha kalıbı kalınlığı:** Çalışmalarda kullanılan kalıp aralığı, takviye malzemesi olan kumaşın kalıp çıkışından rahatça çıkabilmesi için 8 mm. tutulmuştur (Şekil 4.9). Bu aralık değiştirilerek çıkan plakanın kalınlığı değiştirilebilmektedir.



Şekil 4.9 : Ekstrüder levha kalıbı ve merdane görünüşü.

- **Merdaneler arası açıklık:** Ekstrüder çıkışında alınan malzeme merdaneler arasından geçirilerek kalınlığı küçültülüp nispeten düzgün yüzeyler elde edilmesi sağlanır. Kalıptan çıkan malzeme, 20-25 mm'yi bulan kalınlıklara çıkabilmektedir. Çalışma sırasında merdaneler arası açıklık 5 mm olarak ayarlanmıştır. Malzemenin merdanelerden geçişi sırasında takviye elemanı

kaynaklı zorlanmaların olması durumunda merdanenin her iki yanda bulunan ayar vidaları kullanılarak merdane açıklığı artırılabilir. Merdane çıkışında soğuyan ve bir miktar incelen karma malzeme tekrar şişmeye ve kalınlığını arttırmaya başlar. Soğumanın devam etmesiyle birlikte şişme miktarından azalmalar görülmektedir.

- **Merdane Hızı:** Merdanelerin dönüş hızı, çıkan malzemenin kalınlığını etkileyen bir parametredir. Merdane hızının yüksek oluşu malzemenin çekilerek incelmesi, hatta yırtılması söz konusu olmaktadır. Bu hızın düşük oluşu merdane girişinde malzeme birikmesine, biriken malzemenin daha soğuk olarak merdaneye girmesine ve merdane çıkışı malzemenin daha kalın çıkmasına yol açmaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 : Merdane hızının karma malzemeye etkisi.

- **Hidrolik pres basıncı:** Merdaneler arasından geçen malzemenin kalınlığını inceltmek ve daha düzgün yüzeyler elde etmek için hidrolik pres yardımıyla basma işlemi gerçekleşir. Prese alınan malzemenin soğumamış olması yüzey düzgünlüğü ve inceltme miktarı açısından önem kazanmaktadır. Çalışmada tabakalı karma malzemeler, merdane çıkışında soğuyan malzemenin pres öncesi tekrar yüksek sıcaklıklara çıkarmak için 190°C sıcaklığa ısıtılmış etüvde 15 dakika süreyle bekletilmiştir. Bu sayede presten beklenen verim artmış olmaktadır.

4.1.1.2 Geri dönüşüm işlemi

Çalışmada geri dönüşüm işlemi, üretilen plakaların kırıcı makinasında granül hale getirilerek tekrar ekstrüdere beslenmek suretiyle üretimin gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada yapılan geri dönüşüm işlemlerinin aşamaları şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

- Üretilen plakalar, henüz soğumalarına müsaade edilmeden elle, kırıcı makinasına uygun boyutlarda Şekil 4.11'de gösterildiği üzere küçük parçalar halinde yırtılırlar. Soğuyan kısımlar soğuma derecelerine göre makasla veya tam soğuma gerçekleşmişse (malzeme oda sıcaklığına ulaşmışsa) giyotin yardımıyla kesilerek kırma işlemi için hazır hale getirilirler.



Şekil 4.11 : Kırma işlemi öncesi malzemenin küçük parçalara ayrılması.

- Kesilen parçalar, plastik kırma makinasına atılarak, makina içerisinde bulunan bıçaklar yardımıyla Şekil 4.12'de görüldüğü üzere küçük granüller haline getirilir.



Şekil 4.12 : Karma malzeme granülleri.

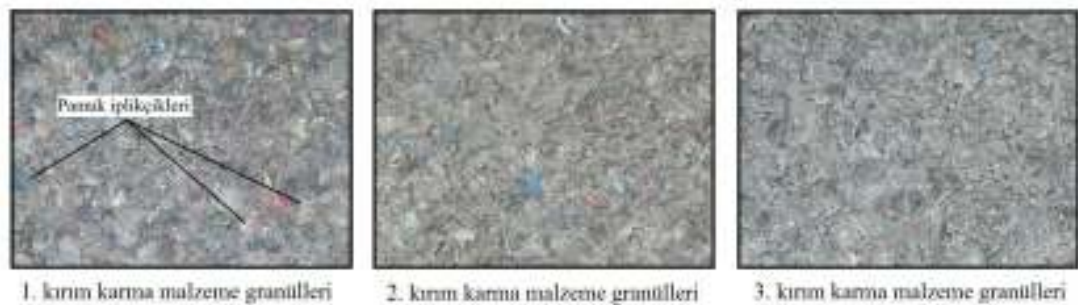
- Granül haline getirilmiş malzemeler tekrar ekstrüdere beslenerek yeni plakaların üretimi sağlanmıştır.
- Bu işlemler her plakaya tekrar uygulanarak geri dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir olur.

Çalışmanın ilk aşamasında matris ve takviye malzemeleri ağırlık oranları göz önünde bulundurularak ayrı ayrı tartılır ve ekstrüdere beslenir. İlk üretim sonrasında elde edilen malzemelerde takviye malzemesi pamuklar belirgin olarak matris içerisinde görülmektedir.

Çalışmanın diğer aşamalarında üretilen plakalar küçük parçalar halinde kesilip kırıcı yardımıyla granül haline getirilir. Bu işlem her yeni plaka için tekrarlanarak homojen mekanik özelliklere sahip malzemeler üretilmiş olmaktadır.

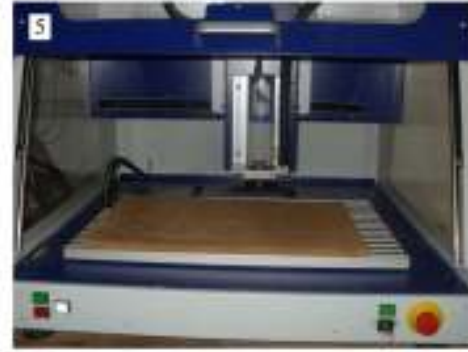
Geri dönüşüm (kırma) işlemi sonunda oluşan granüllerin özellikleri şu şekildedir:

- 1. kırım sonrası elde edilen granüllerde takviye malzemesi pamuğun bir kısmının parçalandığı ve bölgesel olarak duran pamuk ipliklerinin bulunduğu görülmüştür.
- 2. kırım sonrası toplu olarak duran kumaş miktarının düştüğü, toplu halde bulunan iplik yoğunluğunun azaldığı görülmüştür. Bu aşamayla birlikte takviye dağılımının homojenliği artmıştır.
- 3. kırım sonrasında takviye malzemesi pamuklu kumaş parçaları yok denecek kadar az görülürken, polimer malzemeyle birlikte daha yüksek ve homojen bir yapı elde edilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 : Kırma işlemi sonrasında elde edilen karma malzeme granülleri.

Çalışma sırasında gerçekleştirilen üretim ve geri dönüşüm kademeleri sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te gösterilmektedir:



Üretim Basamakları

- | | |
|--------------------|------------------|
| 1. Ekstrüzyon | 4. Presleme |
| 2. Merdaneler | 5. Numune Kesimi |
| 3. Etüvde Bekletme | 6. Testler |

Şekil 4.14 : Karma malzeme üretim aşamaları.



Geri Dönüşüm Basamakları

- | | |
|---------------|---------------------------|
| 1. Ekstrüzyon | 3. Küçük Parçalara Ayırma |
| 2. Merdaneler | 4. Kırma İşlemi |

Şekil 4.15 : Karma malzeme geri dönüşüm çevrimi.

4.2 Örme Cam Elyafı Tabakalı Karma Malzemelere Polyester Reçine Uygulanması

Çalışmada pamuk takviyeli karma malzemeler ile örme cam elyafın oluşturduğu tabakalı karma malzemelerin ara yüzeylerine, tutunma özelliklerinin artması için Polipol 337 marka polyester uygulanmıştır. Polyester fiziksel özellikleri Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 : Sıvı haldeki Polipol 337 polyesterin özellikleri [45].

Test	Metod	Değer
Renk	ISO 2211	maks. 250 Hazen
Yoğunluk	ISO 1675	1,094 gr/cm ³
Kırılma İndisi	ISO 0489	1,532
Asit Değeri	ISO 2114	20 mg KOH/gr
Viskozite	ISO 2555	190 cp
Jel Süresi	ISO 2535	14 dakika
Monomer Oranı	-	% 35
Parlama Noktası	Abel-Pernsky	28 °C

Çizelge 4.5 : Sertleştirilmiş Polipol 337 polyesterin özellikleri [45].

Test	Metod	Değer
Yük Altında Eğilme Sıcaklığı	ISO 0075-A/B	80°C/90°C
Su Absorbsiyonu	ISO 0062	% 0,18
Barkol Sertliği	ASTM-D 2583	47
Toplam Hacimsel Çekme	ISO 2114	% 8,6
Eğilme Dayanımı	ISO 0178	107 MPa
Eğilme Elastiklik Modülü	ISO 0178	3263 MPa
Eğilme Kopmasındaki Uzama	ISO 0178	% 4,3
Çekme Dayanımı	ISO 0527	58 MPa
Çekme Elastiklik Modülü	ISO 0527	2701 MPa
Çekme Kopmasındaki Uzama	ISO 0527	% 2,6
İzod Darbe Dayanımı	ISO 0180	8 kJ/m ²

Çalışmada polyester reçinenin sertleşmesi için Butanox M-60 marka Metil Etil Keton Peroksit (MEKP) bazlı sertleştirici kullanılmıştır. Bu sertleştirici polyester reçine ile reaksiyona girerek ürünün sertleşmesini-kürleşmesini gerçekleştirir. MEKP organik bir peroksittir (Çizelge 4.6). Bu tür bileşikler kendi başlarına kararsız yapıda olduklarından dolayı asal (inert) maddeler ile karışım formunda bulunurlar [46]. Sertleştirici ile birlikte, polyester reçinenin çapraz bağlarının oluşumuna yardımcı olması amacıyla % 6 kobalt çözültisi esaslı hızlandırıcı bileşik kullanılmıştır.

Çizelge 4.6 : Butanox M-60 marka peroksit sertleştiricinin özellikleri [46].

Özellik	Değer
Görünüm:	Renksiz parlak sıvı
Koku:	Belirsiz.
Kaynama noktası:	Uygulanamaz (Ayrışır)
Erime / donma noktası:	Katılaştığı değer veya altında -10°C/14°F
Parlama sınırı:	Belirlenmemiş
Patlayıcı özellikler:	Hayır
Alevlenme noktası:	SADT değerinin üstünde.
Alev alabilirlik:	Ayrışma ürünleri yanıcı olabilir.
Oksitleyici özellikler:	Uygulanamaz
Kendiliğinden ateşleme sıcaklığı:	Test yöntemi uygulanamaz
SADT Değeri:	SADT Değeri: 60°C
Buhar basıncı:	Belirlenmemiş
Yoğunluk:	1,17 gr/mol (20°C/68°C)
Hacimsel yoğunluk:	Uygulanamaz
Diğer solventlerde çözünürlük:	Etallerle karıştırılabilir (20°C/68°C)
pH Değeri:	Hafifçe asidik.
Aktif oksijen içeriği:	% 9.8 – 10
Peroksit içeriği:	% 36
Suda çözünürlük:	Kısmen karıştırılabileceği madde su (20°C/78°C)
n-oktanol/su bölme katsayısı (log/Pow):	Belirlenmemiş.
Dinamik viskozite:	25mPa.s 20°C/68°F
Buhar yoğunluğu (hava=1):	Belirlenmemiş.
Uçuculuk:	Belirlenmemiş.

Polyester reçinenin sertleştirici ve hızlandırıcı karışım oranları Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 : Polyester reçine ağırlıkça karışım oranları

Malzeme	Ağırlıkça karışım oranı
Polyester Reçine	% 99,2
Butanox M-60 Sertleştirici	% 0,7
% 6 Kobalt Bazlı Hızlandırıcı	% 0,1

4.3 Optik Mikroskop Görüntü Analizi

Çalışma kapsamında çekme testi sonucu kopan numunelerin kopma bölgeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında mevcut olan Nikon SMZ800 marka optik mikroskopta incelenmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 : Optik mikroskopun fotoğrafı.

4.4 Tarayıcı Elektron Mikroskobu Görüntü Analizi (SEM)

Çalışma kapsamında üretilen plakalar, İstanbul Teknik Üniversitesi Temag laboratuvarında mevcut Zeiss marka Eva MA10 model tarayıcı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 : Tarayıcı elektron mikroskobunun fotoğrafı.

İnceleme öncesi hazırlık aşamasında, incelenecek malzemelerin yalıtkan özellik taşımasından dolayı mikroskop elektronların geri yansması olamayacağı için malzemeler, azot gazı atmosferinde altınla kaplanarak gerekli iletkenlik sağlanmış, iyi yüzey görüntüleri elde edilebilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 : Hazırlık aşamasında kullanılan altın kaplama cihazı.

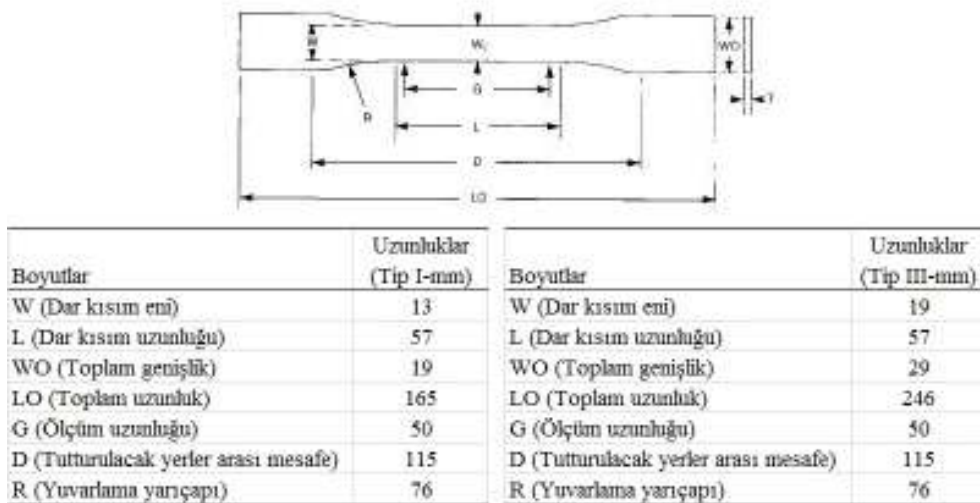
5. SONUÇLAR

5.1 Aşama I: Test Sonuçları

İlk aşama testlerinde, piyasada kullanılan ön tampon malzemesinin laboratuvar ortamında elde edilen çekme ve darbe testleri sonuçları ile yine aynı laboratuvar ortamında tespit edilen DYPE malzeme, pamuk elyaf takviyeli karma malzeme, cam elyafın farklı formlarının kullanıldığı tabakalı karma malzemelerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

5.1.1 Çekme deneyi sonuçları

Malzemelerin çekme deneyi ASTM D638-10 standardına uygun olarak Shimadzu Autograph AG-IS 50kN çekme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numune boyutları, numune kalınlıklarının 7 mm ve altında olan değerleri için ilgili standarttaki “tip I”, 7mm ile 14 mm arasındaki kalınlıklardaki malzemeler için "tip III" ile ifade edilen boyutlara göre belirlenmiştir. Deneylerde her bir malzeme türü için 5 adet numune kullanılmıştır. Çekme deneyi cihazının vermiş olduğu kuvvet ve uzama değerlerine göre, malzemenin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri hesaplanmıştır. Çekme deneyi oda sıcaklığında gerçekleştirilip, şekil değiştirme hızı 50 mm/dk. olarak ayarlanmıştır [34].



Şekil 5.1 : Çekme deneyi test numunesi ve boyutları [43].

Çalışmada, saf (takviyesiz) düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) G-03 ve kütleli olarak % 15 oranında pamuk elyaf takviyeli karma malzemelerin, 90°/0° örme cam elyafı ve 3-5 cm boyutlarındaki serbest cam elyafla yaptıkları tabakalı karma malzemeler kullanılmıştır. Pamuk elyaf takviyeli karma malzemesi için özelliklerin homojen bir dağılım göstermesi için 3 kez ekstrüzyon işleminden geçirilmiştir.



Şekil 5.2 : Çekme deneyi test numunesi.

Çekme deneyi sonunda elde edilen çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerlerinin ortalaması alınıp, standart sapma ve değişim katsayısı değerleri aşağıdaki denklemler uyarınca elde edilmiştir (5.1, 5.2 ve 5.3).

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - x_{ort})^2}{n - 1}} \quad (5.1)$$

$$v = \left(\frac{s}{x_{ort}} \right) \cdot (100\%) \quad (5.2)$$

$$x_{ort} = \frac{\sum x}{n} \quad (5.3)$$

s: Standart sapma değeri

v: Değişim katsayısı (%)

x_{ort} : Değerlerin aritmetik ortalaması

x: Değerlerin her biri

n: Değerlerin adedi

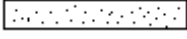
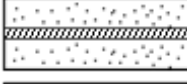
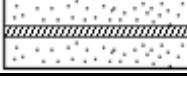
Çalışmada kullanılan malzemelerden elde edeceğimiz mekanik özellikleri karşılaştıracığımız Ford Transit Connect marka otomobilin polipropilen (PP) ile karbon siyahı malzemelerinden imal edilmiş olan ön tampon malzemesinin laboratuvar ortamında elde edilen çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Tampon malzemesi mekanik özellikleri.

Malzeme	Çekme dayanımı, σ_c (MPa)	Değişim katsayısı, σ_c (%)	Elastiklik modülü, E (MPa)	Değişim katsayısı, E (%)
Tampon malzemesi	13,3	3,62	393	2,85

Çalışmada kullanılan farklı ağırlık oranlarındaki karma malzemelerin yapıları ve ağırlıkça katılım oranları Çizelge 5.2’de gösterilmektedir.

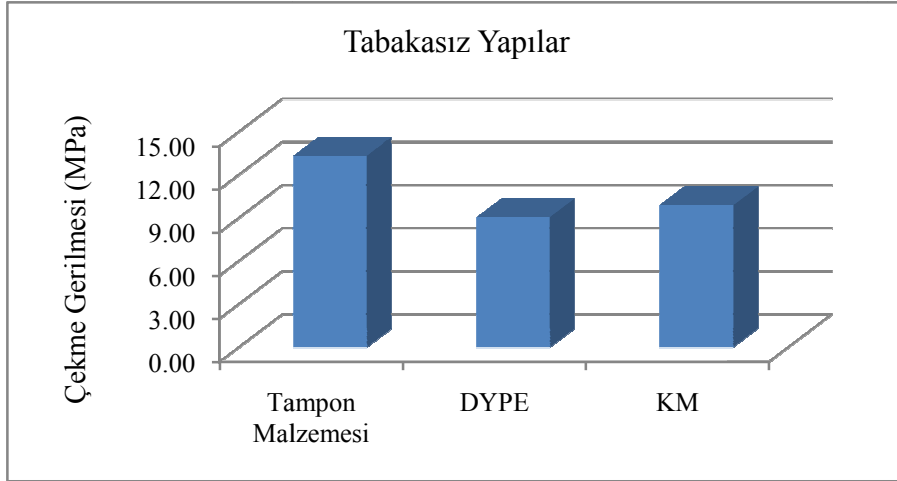
Çizelge 5.2 : Deney malzemelerinin ağırlık oranları ve yapıları.

Kısaltma	Malzeme	Yapı	Ağırlık yüzdeleri
DYPE	Saf (takviyesiz) polietilen malzeme		%100 DYPE
KM	Karma malzeme		%85 DYPE + %15 Pamuk
TKM	Çift tabakalı karma malzeme		%85 DYPE + %15 Pamuk
SCE-TKM	Serbest cam elyaf tabakalı karma malzeme		%77 DYPE+%13 Pamuk + %10 Cam elyaf
ÖCE-TKM	Örme cam elyaf tabakalı karma malzeme		%77 DYPE+%13 Pamuk + %10 Cam elyaf

Ekstrüzyon işlemi sonrasında Çizelge 5.2’ye göre oluşturulan plakalardan elde edilen numunelere ait çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri ile ilgili değişim katsayısı yüzde değerleri Çizelge 5.3’te gösterilmiştir.

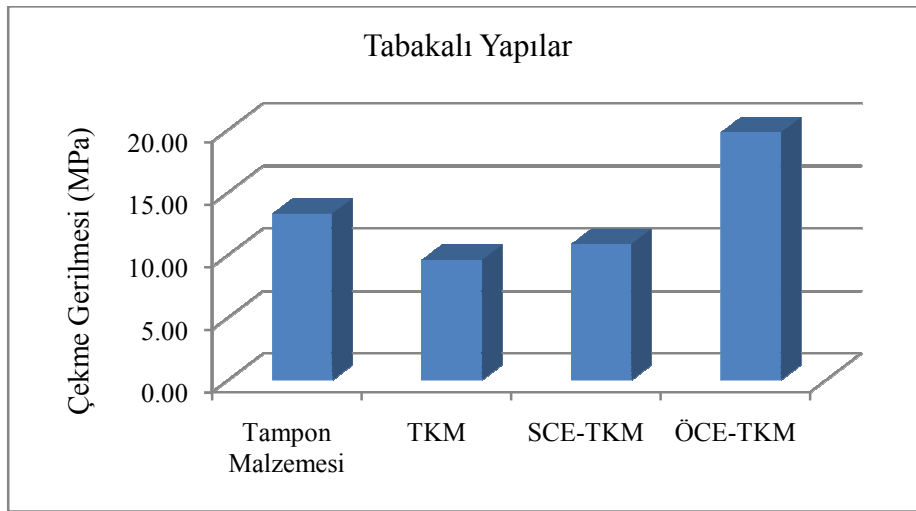
Çizelge 5.3 : Deney malzemelerinin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri.

Malzeme	Çekme gerilmesi, σ_c (MPa)	Değişim katsayısı, σ_c (%)	Elastiklik modülü, E (MPa)	Değişim katsayısı, E (%)
DYPE	9,04	7,00	130	2,23
KM	9,89	3,60	191	0,63
TKM	9,63	1,50	221	19,9
SCE-TKM	10,9	11,6	291	14,9
ÖCE-TKM	19,8	13,3	711	2,48



Şekil 5.3 : Tabakasız malzemelerin çekme dayanım değerleri.

Şekil 5.3'te görüldüğü üzere % 15 pamuk takviyesi ile oluşturulan karma malzemenin çekme dayanımı değeri, düşük yoğunluklu polietilen malzemenin çekme dayanım değerinden yaklaşık % 9 daha yüksek çıkmıştır. Burada, karma malzeme içerisindeki takviyelerle matris malzemesi arasında oluşan ara yüzey tutunması sonucu dayanım değerinde bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu artışın, mevcut kullanılan tampon malzemesinin çekme dayanım değerinin altında kaldığı tespit edilmiştir.



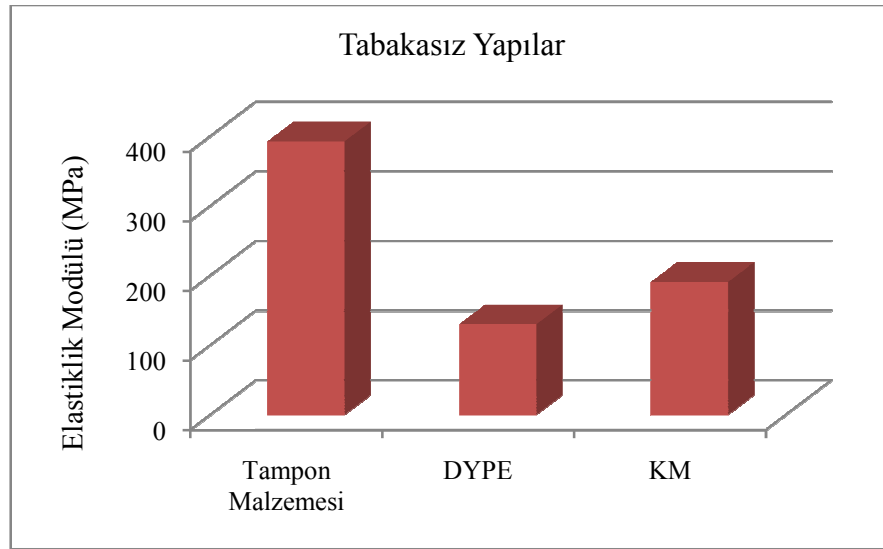
Şekil 5.4 : Tabakalı malzemelerin çekme dayanım değerleri.

Şekil 5.4'te, % 15 pamuk takviyeli karma malzeme ile cam elyafın farklı formlarının oluşturduğu tabakalı yapıların çekme dayanımları görülmektedir. Cam elyafın kullanıldığı tabakalı yapıların çekme dayanımının cam elyaf olmama durumundaki değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Cam elyafların yüzeyler arasındaki

tutunmadan dolayı malzemeye gelen yükü taşıması sebebiyle dayanımı arttırdığı tespit edilmiştir. Serbest cam elyafın kullanılmasıyla çekme dayanım değeri % 13 oranında artarken, 90°/0° örme cam elyafın kullanılmasıyla bu değer % 200'den fazla artmaktadır. Örme cam elyafı durumdaki 2 katı aşan bu yüksek artışın sebebi, uzun ve düzenli dizilmiş elyafların yüzeylerinin tabakalar arasındaki tutunma miktarını arttırması olarak belirlenmiştir.

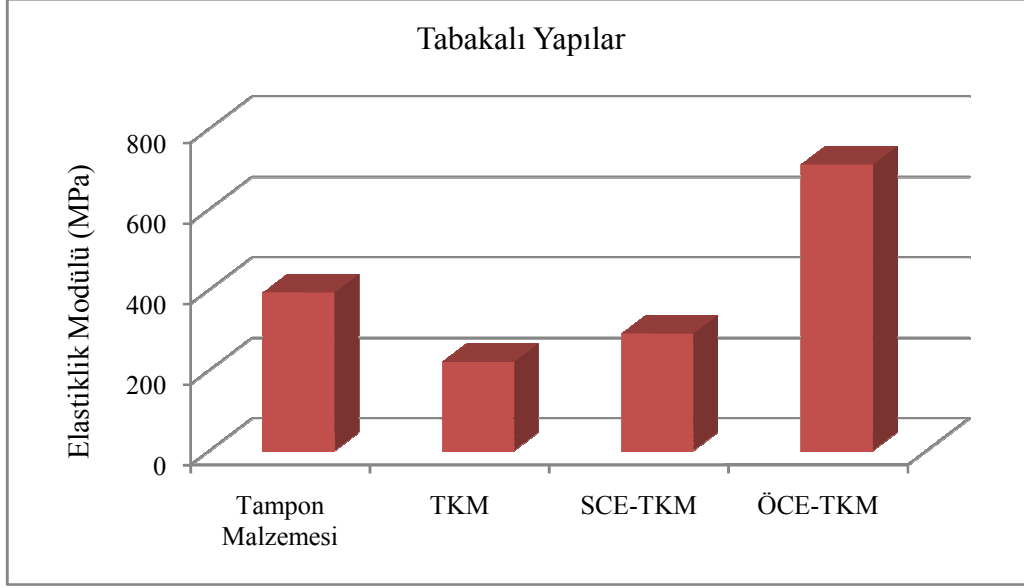
Tabakalı malzemelerin deney sırasında hasara uğraması, cam elyaf/karma malzeme ara yüzeyinde oluşturulan tutunmanın aşılması sonucu gerçekleşmiş, cam elyafların her hangi bir hasarı söz konusu olmamıştır.

Şekil 5.4'teki grafikte de görüldüğü üzere, örme cam elyafı tabakalı karma malzemenin çekme dayanımı, tampon malzemesi dayanım değerini aşan tek malzeme olduğu görülmüştür.



Şekil 5.5 : Tabakasız malzemelerin elastiklik modülü değerleri.

Şekil 5.5'te görüldüğü üzere, pamuk takviyeli karma malzemenin elastiklik modülü değeri saf DYPE'nin değerinden yaklaşık % 47 oranında yüksek çıkmıştır. Burada takviye olarak kullanılan pamuk elyaflarının karma malzemenin elastiklik modülünü geliştirdiği görülmektedir. Bu artışın sebebi olarak, Kartalis ve arkadaşlarının 2000 yılında yapmış oldukları çalışmada da belirttikleri üzere, malzemelerin geri dönüşüm işleminde tekrar ekstrüderde sıcaklığa maruz bırakılmasıyla oluşan yeni çapraz bağların ve organik takviye olan pamuktaki radikallerin başlattıkları polimer zincir dallanmasının bir sonucu olarak gösterilebilmektedir [44]. Bunun sonucunda daha rijit bir yapı ortaya çıkmaktadır.

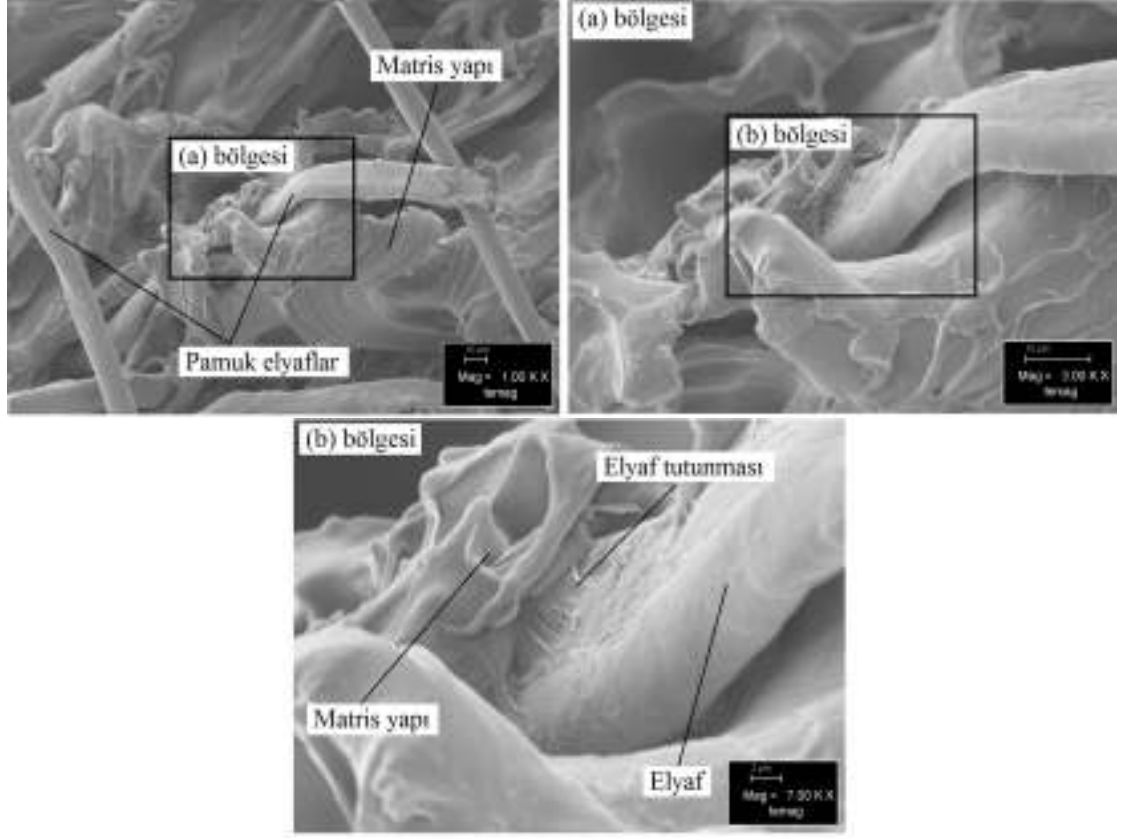


Şekil 5.6 : Tabakalı malzemelerin elastiklik modülü değerleri.

Şekil 5.6’da görüldüğü üzere, cam elyaf takviyesi ile elastiklik modülü değerlerinde bir artış söz konusu olmuştur. Serbest cam elyafı tabakalı karma malzemenin modül değeri % 32, örme cam elyafı tabakalı karma malzemenin değeri ise yaklaşık % 322 oranında arttırdığı görülmüştür.

Çalışmada kullanılan elyafların malzemelerin mekanik özelliklerine etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, çekme deneyi sırasında kopan parçaların kopma yüzeylerinden farklı büyütmelerdeki SEM (tarayıcı elektron mikroskop) görüntüleri çekilmiştir. Bu görüntüler sayesinde liflerin ve ipliklerin düşük yoğunluklu polietilen malzemeyle etkileşimi ve tutunabilirliği hakkında daha rahat fikir elde edilmiştir.

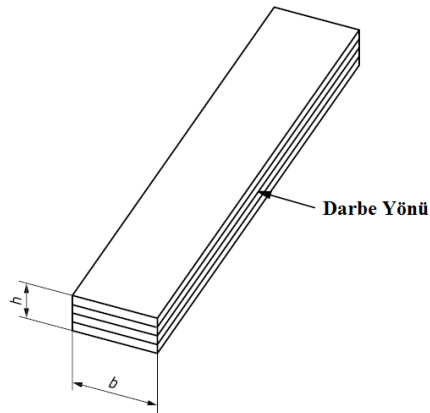
Karma malzeme üretiminde ilk ekstrüder aşamasında katılan pamuklu kumaş kırpıntı takviyeleri, geri dönüşüm işlemiyle birlikte giderek elyaf halini almışlardır. İpliklerin elyaf haline dönüşümü ile beraber matris-elyaf tutunma yüzey alanı daha fazlalaşmakta, böylece geri dönüşüm işlemiyle mekanik özelliklerde de bir iyileşme görülmektedir. Şekil 5.7’deki görüntüden, plastiğin yük altında elyafa tutunduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.7 : Matris yapı-elyaf tutunmalarının SEM görüntüleri.

5.1.2 Darbe deneyi sonuçları

Malzemelerin darbe testleri EN ISO 179:2010 standardına uygun olarak “Alşa” darbe deney cihazı kullanılarak yapılmıştır. Test numuneleri ilgili standartta belirtilen boyutlarda imal edilmiştir. Numunelere herhangi bir çentik açılmamıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 : Darbe deney numunesi.

Darbe testinde malzemenin kırılma enerjileri skaladan okunup, darbe dayanımları EN ISO 179:2010 standardında mevcut çentiksiz malzemeler için kullanılan formül yardımıyla kJ/m² biriminde hesaplanmıştır (5.4).

$$a_{cU} = (E_c \times 10^3) / (h \times b) \quad (5.4)$$

a_{cU} : Darbe dayanımı (kJ/m²)

E_c : Kırılma enerjisi (J)

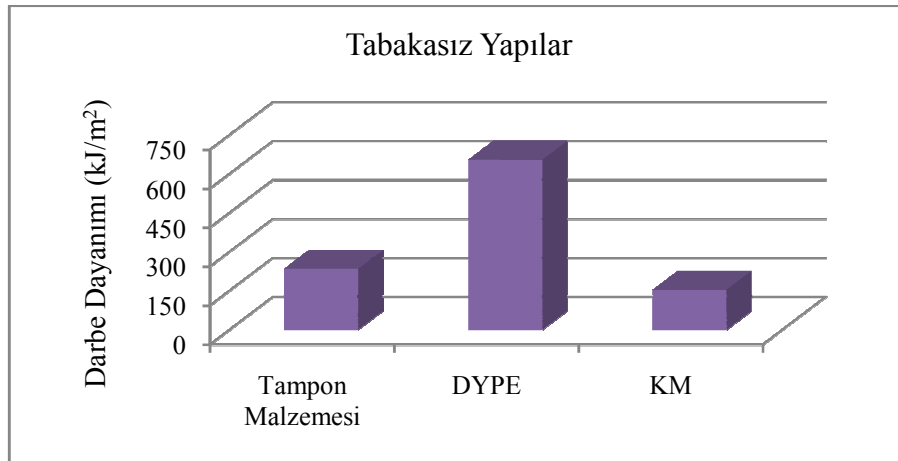
h : Malzeme kalınlığı (mm)

b : Malzeme genişliği (mm)

Çizelge 5.4 : Deney malzemelerinin darbe dayanım değerleri.

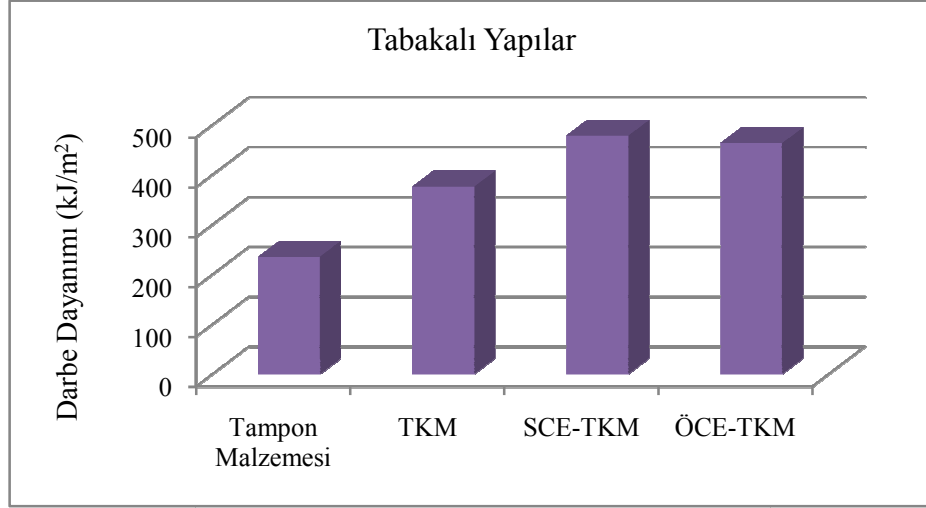
	Darbe dayanımı (kJ/m ²)	Değişim katsayısı (%)
Tampon Malzemesi	236	12,3
DYPE	656	9,81
KM	155	11,1
TKM	377	11,0
SCE-TKM	479	4,39
ÖCE-TKM	464	6,06

Şekil 5.9’da görüldüğü üzere, takviyesiz DYPE’nin darbe dayanımı, pamuk takviyeli karma malzemenin dayanımının 4 katından daha fazladır. Burada geri dönüşüm işlemi sırasında oluşan termomekanik bozulmayla birlikte polimer zincirlerin ayrışması sonucu gevrek kırılma eğiliminin arttığı, tokluk miktarının düştüğü, dolayısıyla mekanik ve plastiklik özelliklerini azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.9 : Tabakasız malzemelerin darbe dayanımları.

Şekil 5.10'daki grafikte görüldüğü üzere, cam elyaf takviyesiyle birlikte malzemenin darbe dayanımının arttığı görülmektedir. Serbest cam elyaf tabakalı karma malzemede % 27 oranında arttığı, örme cam elyaf tabakalı malzemede ise % 23 oranında arttığı görülmektedir. Burada serbest cam elyaflarının, dağınık halde bulunmaları sebebiyle yükü farklı doğrultularda taşıyarak sağladığı malzeme tokluğuna katkısı örme elyafın katkısından daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.10 : Tabakalı malzemelerin darbe dayanımları.

5.2 Aşama II: Test Sonuçları

Bu aşamada, ilk aşama sonucu en iyi dayanım özelliklerini sağlayan örme cam elyaf takviyeli karma malzemenin (ÖCE-TKM) mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla farklı yüzey uygulamaları uygulanarak yüzeyler arası tutunmanın iyileştirilmesi amaçlanmıştır. En iyi sonucu veren malzemenin çekme dayanımı, darbe dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri tespit edilmiştir.

5.2.1 Ayırma testi sonuçları

Çalışmanın ilk aşama testleri sonucunda, en yüksek mekanik değerleri veren örme cam elyaf takviyeli karma malzemeye (ÖCE-TKM) farklı yüzey ısıt işlemleri ve kimyasal uygulamalar uygulanmıştır:

- Numune 1: Karma malzeme tabakaları etüvde bekletilmiştir.
- Numune 2: Karma malzeme tabakaları etüvde bekletilmiş ve cam elyafla oluşturacakları yüzeylere polyester reçine uygulanmıştır.

- Numune 3: Karma malzeme yüzeylerine ısı tabancasıyla (pürmüzle) alev uygulanmıştır.
- Numune 4: Karma malzeme yüzeylerine polyester reçine uygulanmıştır.

5.2.1.1 Numune 1: Etüvde bekletme

1 nolu numunede kullanılan pamuk takviyeli karma malzeme tabakaları, örme cam elyafla birlikte tabakalı yapıyı oluşturmada önce, polietilen üretici firması tarafından önerilen eriyik sıcaklığı olan 190 °C'yi sağlamak için, set değeri 200 °C sıcaklıktaki etüvde 15 dakika boyunca bekletilerek ara yüzey tutunma miktarının artırılması amaçlanmıştır [47].

5.2.1.2 Numune 2: Etüvde bekletme + Polyester uygulama

Bu numunelerde, tabakalar arası ara yüzey tutunmasının artırılması için karma malzeme tabakaları 200 °C sıcaklık olan etüvde 15 dakika boyunca bekletilmiştir. Sonrasında etüvden alınan tabakaların cam elyafla oluşturacakları ara yüzeylere polyester uygulanmıştır. Etüvdeki malzemenin sıcaklığı etüv set değerinin yaklaşık 10 °C altında olduğu kabul edilmiştir.

5.2.1.3 Numune 3: Alevle yüzey hazırlığı

Bu tip numunede karma malzeme tabakalarının cam elyafla temas edeceği yüzeyleri ısı tabancası (pürmüz) yardımıyla alev uygulanarak hem yüzeylerin temizliği yapılmış hem de ara yüzey sıcaklığı artırılarak tutunmanın artırılması sağlanmıştır.

5.2.1.4 Numune 4: Polyester uygulanması

Bu aşamada karma malzemelere herhangi bir ısı işlem veya yüzey temizliği yapılmamış olup oda sıcaklığındaki karma malzeme tabakalarının yüzeylerine polyester reçine uygulanmıştır.

Dört farklı yüzey işlemi ve kimyasal işlemin uygulandığı numuneler, sonrasında hidrolik prese alınmış olup 24 saat boyunca 3000 kg basma kuvveti altında bekletilmişlerdir. Bu numuneler ayırma testi cihazına bağlanabilmeleri için şerit testere yardımıyla Şekil 5.11'de görüldüğü üzere kenar kısımları açılmıştır.



Şekil 5.11 : Kenar kısımları açılmış ayırma testi numunesi.

Bu ayırma işlemi sırasında, 1,2 ve 3 nolu numunelerin yüzeyleri istenen şekilde ayrılabilmiş olup, yüzeylerine sadece polyester uygulanmış numunenin (4 nolu numune) ara yüzeylerinde ayrılma meydana gelmiştir. Bu sebeple bu tip numune ayırma testine tabi tutulamamıştır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 : Dört farklı işlem uygulanmış ayırma testi numuneleri.

Hazırlanan bu numuneler çalışma kapsamında yapılan çekme deneylerinin de yapılmış olduğu Shimadzu Autograph AG-IS 50 kN cihazında ayırma testine tabi tutulmuşlardır (Şekil 5.13).

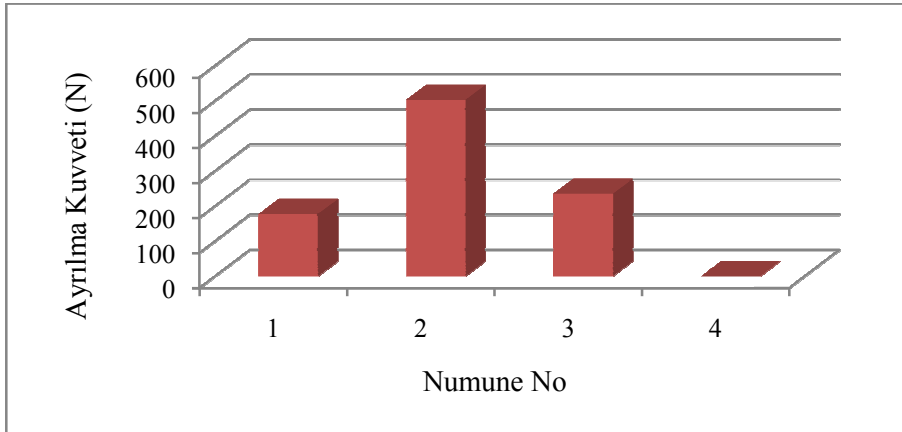


Şekil 5.13 : Ayırma testi cihazına bağlanmış test numunesi (1 nolu numune).

Ayırma testleri sonucunda Çizelge 5.5'te gösterilen çekme kuvvetleri değerleri oluşmuştur (Şekil 5.14).

Çizelge 5.5 : Deney malzemelerinin ayrılma testi çekme kuvveti değerleri.

Numune no	Çekme kuvveti (N)
1	178
2	503
3	236
4	-



Şekil 5.14 : Ayırma testi numunelerinin çekme kuvvetleri grafiği.

Şekil 5.14'te görüldüğü üzere 2 nolu numune (karma malzeme tabakaları etüvde bekletilmiş ve cam elyafla oluşturacakları yüzeylere polyester reçine uygulanmış numune) en yüksek ayrılma testi çekme kuvvetini sağlayan numune olmuştur.

Şekil 5.15'te test sonucu ayrılan plakaların ayrılma yüzeyleri görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere teste tabi tutulan üç numuneden 1 ve 3 nolu numunelerde ayrılma büyük bir oranda karma malzeme plakası ile cam elyaf arasındaki yüzeyde oluşmuştur. 2 nolu numunede ise ayrılma % 50-60 oranında cam elyafın kendi içerisindeki örme ilmeklerinden olduğu gözükmemektedir.



Şekil 5.15 : Ayrılma testi sonucu plakaların ayrılma yüzeyleri.

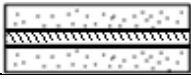
Ayrılma testi sonucu en iyi çekme kuvveti özelliğini veren 2 nolu numune için tekrarlı metalografik deneyler gerçekleştirilmiştir.

5.2.2 Çekme deneyi sonuçları

Malzemelerin çekme deneyi ASTM D638-10 standardına uygun olarak Shimadzu Autograph AG-IS 50kN çekme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numune boyutları ilgili standarttaki, 7 mm ile 14 mm arasındaki kalınlıklardaki malzemeler için "tip III" ile ifade edilen boyutlara göre belirlenmiştir (Şekil 5.1). Deneylerde her bir malzeme türü için 5 adet numune kullanılmıştır. Çekme deneyi cihazının vermiş olduğu kuvvet ve uzama değerlerine göre, malzemenin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri hesaplanmıştır. Çekme deneyi oda sıcaklığında gerçekleştirilip, şekil değiştirme hızı 50 mm/dk. olarak ayarlanmıştır [34].

Örme cam elyaf takviyeli karma malzemenin polyester uygulanmış ve uygulanmamış durumlarının ağırlık oranları Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

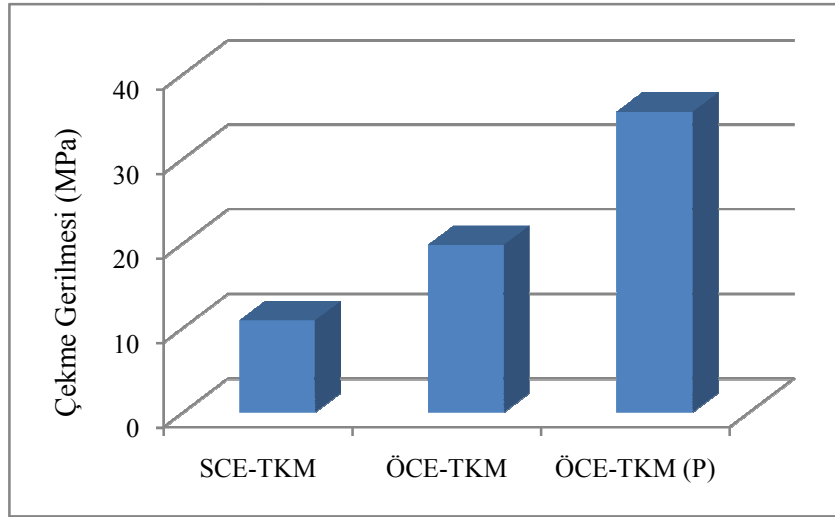
Çizelge 5.6 : ÖCE-TKM'nin ağırlık oranları.

Kısaltma	Malzeme	Yapı	Ağırlık yüzdeleri
SCE-TKM	Serbest cam elyaf tabakalı karma malzeme		%77 DYPE + %13 Pamuk + %10 Cam elyaf
ÖCE-TKM	Örme cam elyaf tabakalı karma malzeme		%77 DYPE + %13 Pamuk + %10 Cam elyaf
ÖCE-TKM (P)	Örme cam elyaf tabakalı karma malzeme (Polyester uygulanmış)		%69 DYPE + %12 Pamuk + %9 Cam elyaf + %10 Polyester

Çizelge 5.6'da gösterilen oranlardaki ÖCE-TKM numunelerinden elde edilen çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri ile ilgili değişim katsayısı yüzde değerleri Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 : ÖCE-TKM'lerin çekme dayanımı ve elastiklik modülü değerleri.

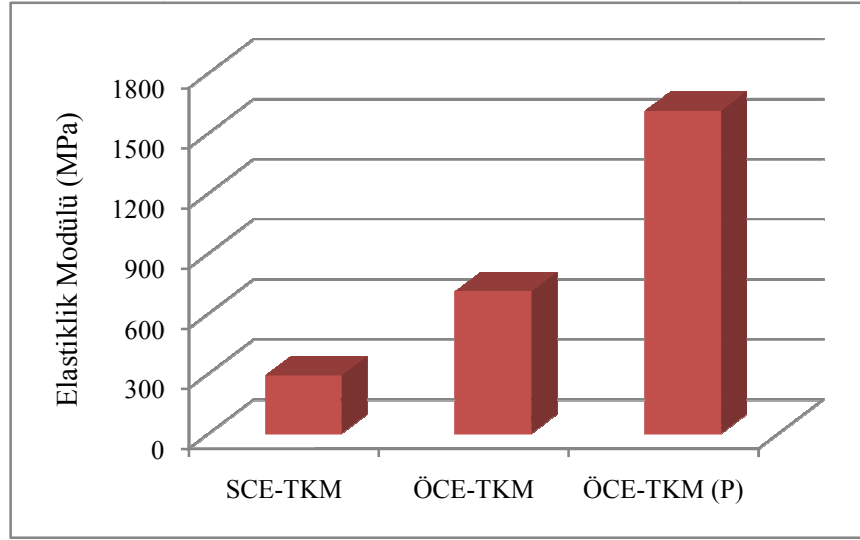
Malzeme	Çekme gerilmesi, σ_c (MPa)	Değişim katsayısı, σ_c (%)	Elastiklik modülü, E (MPa)	Değişim katsayısı, E (%)
SCE-TKM	10,9	11,6	291	14,9
ÖCE-TKM	19,8	13,3	711	2,48
ÖCE-TKM (P)	35,6	15,6	1612	11,6



Şekil 5.16 : Cam elyaf takviyeli tabakalı numunelerin çekme dayanımı değerleri.

Şekil 5.16'da görüldüğü üzere, etüvde bekletilip polyester uygulanmış örme cam elyaflı tabakalı karma malzemenin çekme dayanımı değeri, bu işlemlerin uygulanmadığı durumdakine göre yaklaşık % 80, serbest cam elyaflı tabakalı karma malzemenin dayanımına göre yaklaşık % 227 artış göstermiştir. Bu artış, ısıl işleme

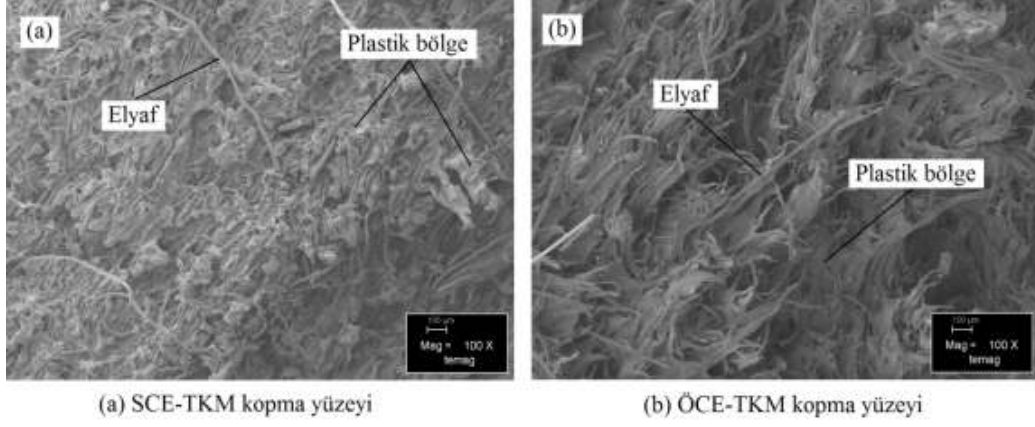
birlikte uygulanan polyester reçinenin, karma malzeme ile yönlenmiş cam elyaf arasındaki tutunma miktarını arttırmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.17 : Cam elyaf takviyeli tabakalı numunelerin elastiklik modülü değerleri.

Şekil 5.17'de görüldüğü üzere, polyester uygulanmış örme cam elyaflı numunenin elastiklik modülü değeri, uygulanmamış durumdakine göre yaklaşık % 127, serbest cam elyaflı duruma göre ise yaklaşık % 455 oranında artış göstermiştir. Burada kullanılan reçinenin malzemenin elastiklik modülü değerini geliştirdiği görülmektedir. Bu artışın sebebi, polyester reçine içerisine katılan sertleştirici ve reaksiyon hızlandırıcıları sayesinde oluşan çapraz bağların oluşmasıdır. Böylece daha rijit bir yapı ortaya çıkmaktadır.

Şekil 5.18'te görüldüğü üzere, serbest cam elyaflı tabakalı karma malzemenin kopması örme cam elyaflı malzemeye göre daha gevrek karakterde olmuştur. Şekil 5.18 (a)'da kopma bölgesindeki matris yapı serbest cam elyaflı malzemede daha kısa uzama görüntüleri vermiş, serbest cam elyafların matris malzeme içerisine geçtiği tespit edilmiştir. Şekil 5.18 (b)'de ise örme cam elyaflı malzemede kopmadaki matris uzama miktarlarının daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 5.18 : Cam elyafli tabakalı malzemelerin kopma yüzeylerinin SEM görüntüleri.

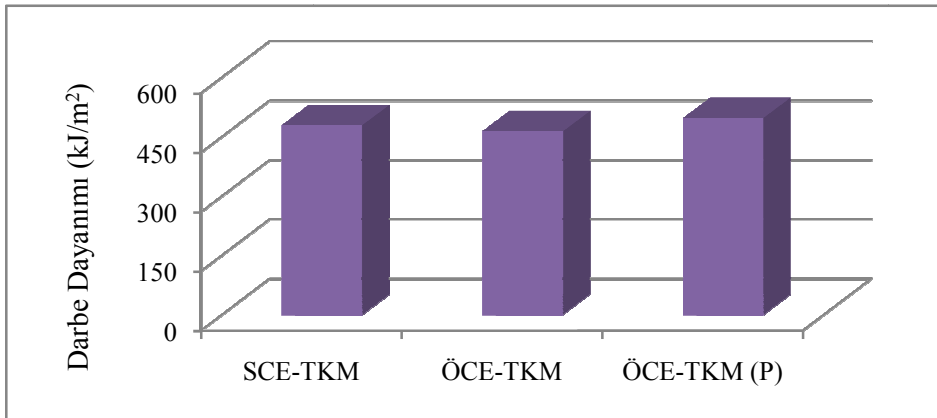
5.2.3 Darbe deneyi sonuçları

Malzemelerin darbe testleri EN ISO 179:2010 standardına uygun olarak “Alşa” darbe deney cihazı kullanılarak yapılmıştır. Test numuneleri ilgili standartta belirtilen boyutlarda imal edilmiştir. Numunelere herhangi bir çentik açılmamıştır (Şekil 5.8).

Darbe testinde malzemenin kırılma enerjileri skaladan okunup, darbe dayanımları EN ISO 179:2010 standardında mevcut çentiksiz malzemeler için kullanılan, 5.4 nolu formül yardımıyla kJ/m^2 biriminde hesaplanmıştır.

Çizelge 5.8 : ÖCE-TKM’lerin darbe dayanımı değerleri.

	Darbe dayanımı (kJ/m^2)	Değişim katsayısı (%)
SCE-TKM	479	4,39
ÖCE-TKM	464	6,06
ÖCE-TKM (P)	496	11,7

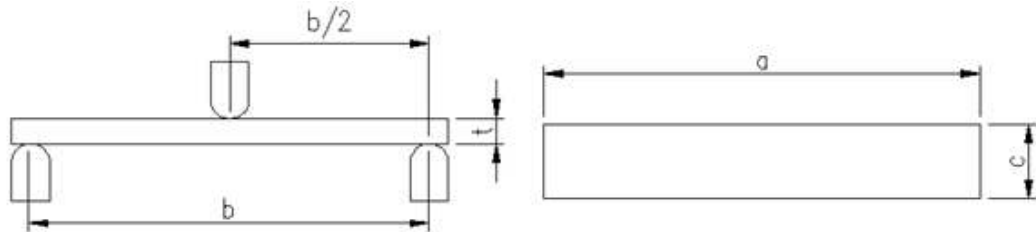


Şekil 5.19 : Cam elyaf takviyeli tabakalı numunelerin darbe dayanımı değerleri.

Şekil 5.19'daki grafikte görüldüğü üzere polyester uygulanmış örme cam elyaflı malzemelerin darbe dayanım değeri, polyester uygulanmamış durumdaki dayanım değerine göre yaklaşık % 7, serbest cam elyaflı durumdaki dayanıma göre yaklaşık % 4 oranında artış göstermiştir. Polyester reçinenin darbe dayanımına vermiş olduğu katkı, serbest cam elyaflı durumdakinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Burada polyester reçinenin örme cam elyafla karma malzeme arasındaki ara yüzey tutunmasını arttırdığı, böylece dinamik kuvvetleri daha yüksek karşılayabildiği tespit edilmiştir.

5.2.4 Üç (3) noktadan eğme deneyi sonuçları

Malzemelerin eğilme deneyi ASTM D790-10 standardına uygun olarak Shimadzu Autograph AG-IS 50kN cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numune boyutları ve kullanılan destek mesafeleri Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Deneylerde her bir malzeme türü için 5 adet numune kullanılmıştır. Eğilme deneyi cihazının vermiş olduğu kuvvet ve yer değiştirme değerlerine göre, malzemenin eğilme dayanımı, eğilme elastiklik modülü ve sekant modülü değerleri hesaplanmıştır. Eğilme deneyi oda sıcaklığında gerçekleştirilip, şekil değiştirme hızı 7 mm/dk. olarak ayarlanmıştır.



Boyutlar	Uzunluklar (mm)
a (numune uzunluğu)	228
b (destekler arası mesafe)	208
c (numune genişliği)	39
t (numune kalınlığı)	13

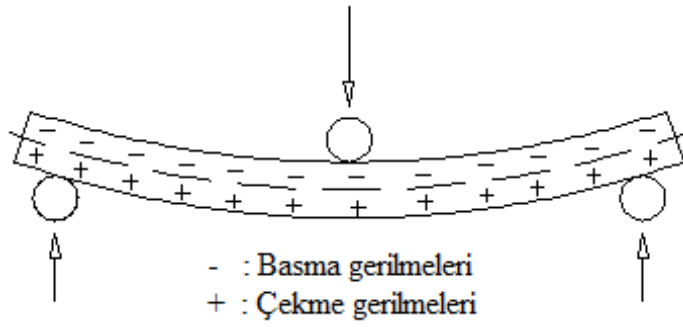
Şekil 5.20 : Eğilme deneyi numune ve destek ölçüleri.

Polyester reçine uygulanmış örme cam elyaflı tabakalı karma malzemenin 3 noktadan eğilme testi sonucu elde edilen eğilme dayanımı, eğilme modülü ve hasarın görüldüğü noktaların sekant modülü değerlerinin ortalaması Çizelge 5.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9 : ÖCE-TKM (P)'nin eğilme değerleri.

ÖCE-TKM (P)		
	Değer (MPa)	Değişim katsayısı (%)
Eğilme gerilmesi	10	7,89
Eğilme modülü	6656	7,11
Sekant modülü	6494	11,7

Yapılan 3 noktadan eğme deneylerinde, numuneler kalınlıklarının yaklaşık % 200 mesafelerine kadar eğilme gerçekleştirilmiş olup, numunelerde herhangi bir kopmanın olmadığı gözlenmiştir. ASTM D2344 standardına uygun olarak deney numunelerinden gelen ilk ses ile birlikte hasarın gerçekleştiği kabul edilmiştir. Polyester reçinenin ilk olarak hasar gördüğü tespit edilmiş, hasar mekanizması olarak delaminasyon görülmüştür (Şekil 5.21).



Şekil 5.21 : Eğilmeye maruz kalan numunede oluşan gerilmeler.

Şekil 5.21'de görüldüğü üzere eğilme deneyi sırasında malzemenin yatay eksenin üst kısmında kalan bölgeleri basma gerilmelerine, alt kısmında kalan bölgeleri ise çekme gerilmelerine maruz kalmaktadır. Bu farklı gerilme yönleri sebebiyle, çalışmada da tespit edildiği üzere delaminasyon (tabakaların ayrılması) görülmüştür.

Yapılan çalışma sonucunda geliştirilen polyester uygulanmış örme cam elyafli tabakalı karma malzemenin (ÖCE-TKM (P)) mekanik özellikleri Çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 : ÖCE-TKM (P) malzemesinin mekanik özellikleri.

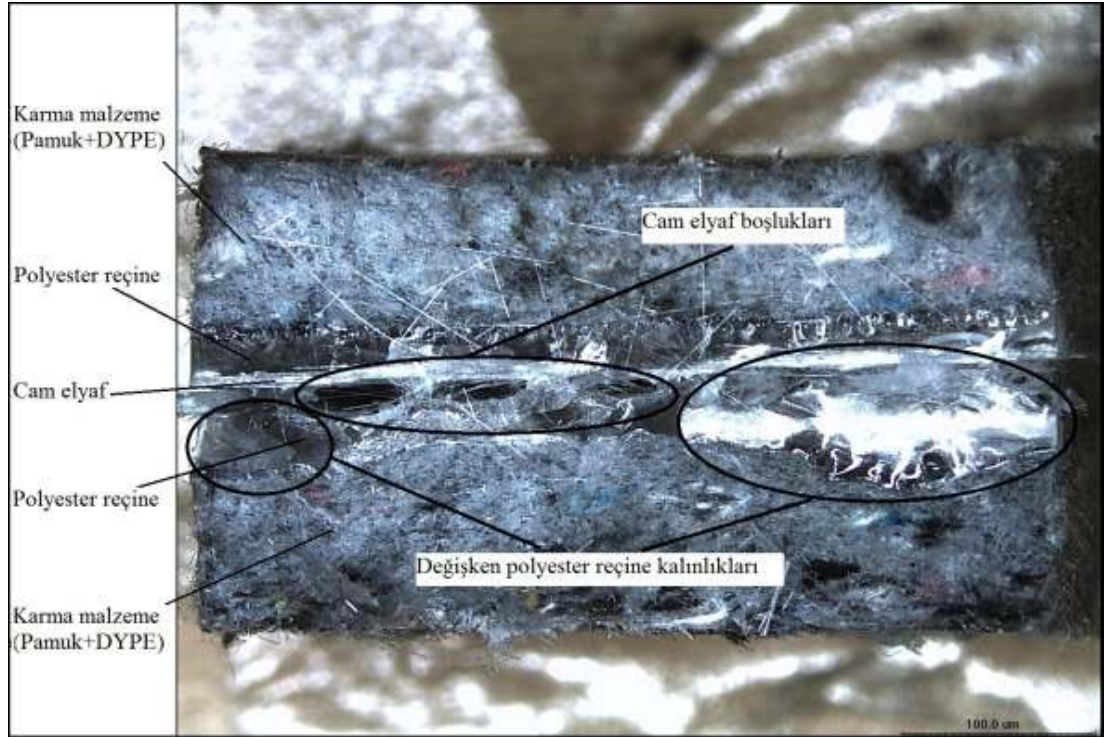
ÖCE-TKM (P) Mekanik Özellikleri		
Özellik	Değer	Değişim katsayısı
Çekme dayanımı	36 MPa	% 15.6
Çekme elastiklik modülü	1612 MPa	% 11.6
Darbe dayanımı	497 kJ/m ²	% 11.7
Eğilme dayanımı	10 MPa	% 7.89
Eğilme elastiklik modülü	6656 MPa	% 7.11
Eğilme sekant modülü	6494 MPa	% 11.7

5.2.5 Maliyet analizi

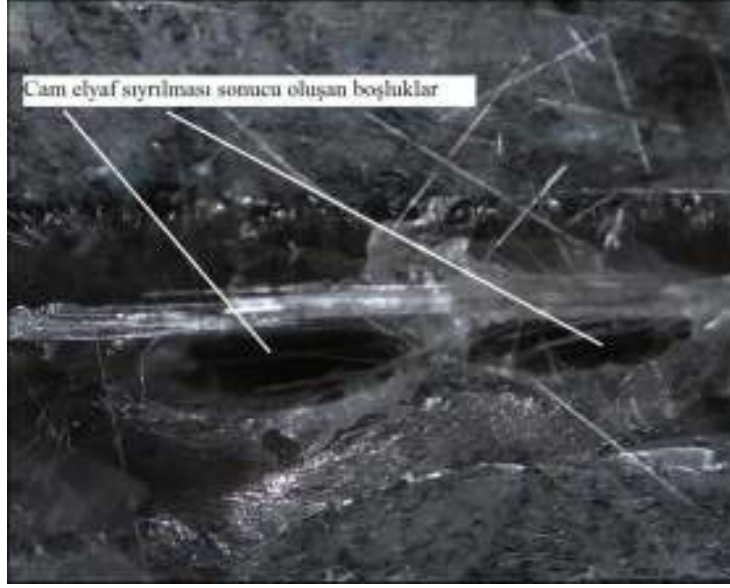
Çalışma sonucu geliştirilen polyester uygulanmış örme cam elyafı tabakalı karma malzemenin (ÖCE-TKM (P)) üretim maliyet analizi, Ford Transit Connect marka aracın ön tamponunun fiyatıyla karşılaştırmalı olarak Ek A.1'de gösterilmiştir.

5.3 Optik Mikroskop Görüntüleri

Çalışmada kullanılan polyester reçinenin malzemenin mekanik özelliklerine etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, incelenen ÖCE-TKM (P) malzemesinin çekme deneyi sonucunda oluşan kopma kesitleri optik mikroskopta incelenmiştir.

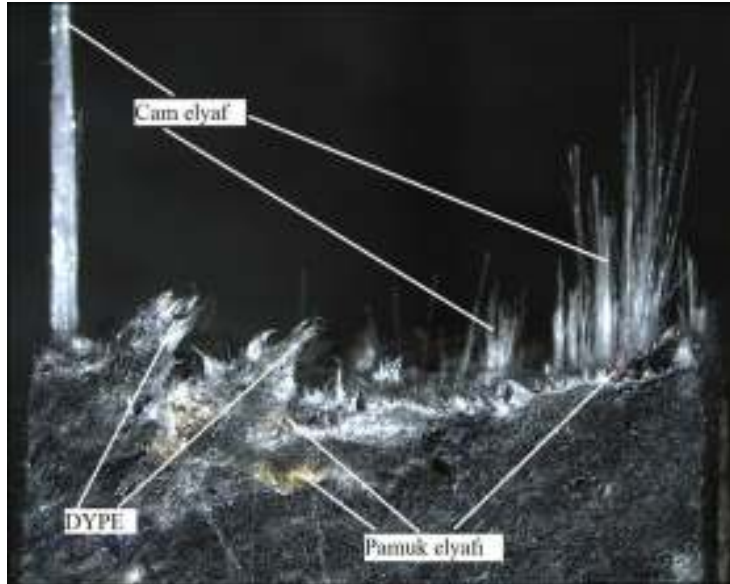


Şekil 5.22 : ÖCE-TKM (P) malzemesinin kopma kesiti-1.



Şekil 5.23 : ÖCE-TKM (P) malzemesinin kopma kesiti-2.

Şekil 5.22 ve 5.23'te çekme deneyi sonrasında kopan numune kesitleri görülmektedir. Bu kesitler incelendiğinde, malzemenin her tarafına sabit kalınlıkta dağılması gereken polyester reçine kesitte farklı kalınlıklarda dağıldığı tespit edilmiştir. Bu farklı dağılım, pamuk takviyeli karma malzemenin üretimi sırasında hidrolik pres kalıplarındaki düzensizlikler neticesinde oluşmuştur. Ara yüzeylere polyester reçine uygulanması sırasında bu düzensizlikler polyesterle dolmuştur ve kopma da bu kesitte meydana gelmiştir.



Şekil 5.24 : ÖCE-TKM (P) malzemesinin kopma yan yüzeyi.

Şekil 5.24'te ÖCE-TKM (P) malzemesinin kopma yan yüzeyi görülmektedir. Burada kopmanın pamuk elyaf takviyeli karma malzemede sünek karakterde olduğu DYPE malzemenin akmasından anlaşılmaktadır. Cam elyafların % 50 oranındaki kısmı koparak ayrılmış, diğer kısmı ise karma malzeme ve polyester reçine arasındaki tutunma kuvvetinin aşılması neticesinde sıyrılarak ayrılmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

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

1. Doğal elyaf takviyeli karma malzemelerde tekrarlı geri dönüşüm işlemiyle beraber elyaf dağılımında iyileşme görülmüştür.
2. Tabakasız yapılarda, doğal elyaf takviyesiyle birlikte, düşük yoğunluklu polietilen matris malzemesinin çekme dayanım değerinin arttığı görülmüştür. Buna rağmen bu artışın mevcut tampon malzemesi olarak kullanılan malzemenin dayanım değerinin altında kaldığı tespit edilmiştir.
3. Örme cam elyaf tabakalı karma malzeme, 1. aşama test sonuçlarına göre tabakalı yapılarda en yüksek çekme dayanımı değerini veren ve mevcut polipropilen tampon malzemesinin dayanım değerini aşan tek malzeme türü olmuştur. 2. aşamada örme cam elyaflı malzemeye polyester uygulanması neticesinde ilk aşamada testlerinde elde edilmiş olan dayanım değerinin daha da geliştirildiği görülmüştür.
4. Tabakasız yapılarda, doğal elyaf takviyesinin katılımıyla birlikte matris malzemesinin rijitliğinin arttığı fakat bu artışın tampon malzemesinin rijitliği için yeterli seviyelere çıkamadığı görülmüştür.
5. Tabakalı yapılarda, cam elyafın rijitliğe pozitif katkı yaptığı görülmüştür. Bu katkı 1. aşama test sonuçlarına göre en çok örme cam elyaflı durumda sağlanmış ve bu malzeme tampon malzemesi rijitliğini geçebilen tek malzeme olmuştur. 2. aşamadaki polyester uygulanmasıyla birlikte bu değer yükselmiştir.
6. Tabakasız yapılarda doğal elyafın katılımının, DYPE malzemesinin tokluk değerini düşürdüğü görülmüştür. Saf polietilen malzemesinin tokluk değerinin, tampon malzemesinin tokluk değerinden yüksek olduğu ve elyaf

katılımıyla birlikte tampon malzemesi değerinin altına düştüğü tespit edilmiştir.

7. Tabakalı yapılar da, cam elyaflı malzemelerin tokluk değerleri yüksek çıkmıştır. İlk aşama test sonuçlarına göre en yüksek tokluk değeri serbest cam elyaflı tabakalı karma malzeme de çıkmıştır. Her üç tabakalı durumda da tampon malzemesinin tokluk değerinin üzerine çıkmıştır. 2. aşama deneylerinde geręekleřtirilen polyester uygulamasıyla örme cam elyaflı karma malzemenin tokluk değeri serbest cam elyaflı malzemenin değerinin üzerine çıkmıştır.
8. Örme cam elyaflı tabakalı karma malzemelerin mekanik özellikleri polyester reçinenin uygulanmasıyla birlikte iyileşme göstermiştir. Buradaki dayanım değerlerinin artışının sebebi polyester reçinenin cam elyaf ile pamuk takviyeli karma malzeme arasındaki ara yüzey tutunmasını arttırması olarak tespit edilmiştir.
9. Optik mikroskop görüntülerinde, tabakalı karma yapıyı oluşturma aşamasında preslemeden kaynaklı düzensizlikler tespit edilmiştir.
10. SEM görüntüleri incelendiğinde DYPE malzemesinin, doğal elyafları ıslatabilme kabiliyetinin (tutunma özelliği) olduğu görölmüştür.
11. Özetle çalışmada kullanılan malzemeler içerisinde, mevcut kullanılan tampon malzemesine, mekanik özellikler bakımından en iyi alternatif olabilecek malzeme örme cam elyaflı tabakalı karma malzeme çıkmıştır. Bu malzeme çalışmada incelenen her bir mekanik özellikte tampon malzemesinden üstün özellikler göstermiştir.
12. En iyi mekanik dayanım özellikleri gösteren örme cam elyaflı tabakalı karma malzemenin mevcut mekanik özellikleri, polyester reçinenin cam elyafla karma malzeme ara yüzeyine uygulanmasıyla iyileşme göstermiştir.
13. Çalışmanın devamı olarak, doğal elyaf ile DYPE malzeme arasındaki tutunmanın artması, dolayısıyla dayanım değerlerinin çok daha iyi seviyelere gelmesi için elyaflara ilave yüzey işlemleri ve birtakım kimyasal uygulamalar ile tutunmayı arttırıcı çalışmalar yapılabilir.

14. Çalışmanın devamı olarak, doğal elyaf ile cam elyafın yönlenmeleri dikkate alınarak, ekstrüzyon yönünde, ekstrüzyon yönüne dik veya 45° açılarda alınacak numunelerin testleri yapılarak mekanik özelliklerdeki değişim gözlemlenebilir.
15. İleriki çalışmalarda optimum mekanik ve fiziksel özelliklerin yakalanabileceği farklı elyaf katkısı oranları üzerinde çalışılabilir. Farklı oranlardaki doğal elyafın özellikleri ile cam elyaf tabakasının farklı örme şekillerinde veya çeşitli cam elyaf boylarındaki özellikleri karşılaştırılarak mekanik özelliklerdeki değişim incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Panthapulakkal, S., Zereschkian, A. ve Sain, M.** (2005). Preparation and characterization of wheat straw fibers for reinforcing application in injection molded thermoplastic composites, *Bioresource Technology*, **97**, 265-272.
- [2] **Mishra, S., Mohanty, A. K., Drzal, L. T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S. K. ve Tripathy, S. S.** (2003). Studies on mechanical performance of biofiber/glass reinforced polyester hybrid composites, *Composites Science and Technology*, **63**, 1377-1385.
- [3] **Vieira, C. A. B., Susin, S. B. S., Freire, E., Amico, S. C. ve Zattera, A. J.** (2009). Characterization of hybrid composites produced with mats made using different methods, *Materials Research*, Vol **12**, No.4, 433-436.
- [4] **Kalaprasad, G., Francis, B., Thomas, S., Kumar, C. R., Pavithran, C. ve Groeninckx, G.** (2004). Effect of fiber length and chemical modifications on the tensile properties of intimately mixed short sisal/glass hybrid fiber reinforced low density polyethylene composites, *Polymer International*, **53**, 1624-1638.
- [5] **Foulk J. A., Chao W., Akin D. E., Dodd R. B. ve Layton P. A.** (2006). Analyses of flax and cotton fiber fabric blends and recycled polyethylene composites, *Journal of Polymers and the Environment*, **14**, 15-25.
- [6] **Esfandiari, A.** (2007). Mechanical properties of PP/jute and glass fibers composites: the statistical investigation, *Journal of Applied Sciences*, **7**, 3943-3950.
- [7] **Thwe, M. M. ve Liao, K.** (2002). Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **33**, 43-52.
- [8] **Thwe, M. M. ve Liao, K.** (2003). Durability of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites, *Composite Science and Technology*, **63**, 375-387.
- [9] **Thwe, M. M. ve Liao, K.** (2003). Environmental effects on bamboo-glass/polypropylene hybrid composites, *Journal of Material Sciences*, **38**, 363-376.
- [10] **Haneefa, A., Bindu, P., Aravind, I. ve Thomas, S.** (2008). Studies on tensile and flexural properties of short banana/glass hybrid fiber reinforced polystyrene composites, *Journal of Composite Materials*, **42**, 1471-1489.

- [11] **Reis P. N. B., Ferreira, J. A. M., Antunes, F. V. ve Costa, J. D. M.** (2007). Flexural behaviour of hybrid laminated composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **38**, 1612-1620.
- [12] **Samal, S. K., Mohanty, S. ve Nayak, S. K.** (2009). Banana/glass fiber-reinforced polypropylene hybrid composites: Fabrication and performance evaluation, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, **48**, 397-414.
- [13] **Jarukumjorn, K. ve Suppakarn, N.** (2009). Effect of glass fiber hybridization on properties of sisal fiber-polypropylene composites, *Composites Part B: Engineering*, **40**, 623-627.
- [14] **Schmidt, T. M., Goss, T. M., Amico, S. C. ve Lekakou, C.** (2009). Permeability of hybrid reinforcements and mechanical properties of their composites molded by resin transfer molding, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **28**, 2839-2850.
- [15] **Rozman, H. D., Tay, G. S., Kumar, R. N., Abusamah, A., Ismail, H. ve Mohd, Z. A.** (2001). The effect of oil extraction of the oil palm empty fruit bunch on the mechanical properties of polypropylene-oil palm empty fruit bunch-glass fiber hybrid composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, **40**, 103-115.
- [16] **Karina, M., Onggo, H., Dawam Abdullah, A. H. ve Syampurwadi, A.** (2008). Effect of oil palm empty fruit bunch fiber on the physical and mechanical properties of fiber glass reinforced polyester resin. *Journal of Biological Sciences*, **8**, 101-106.
- [17] **Alsina, O. L. S., De Carvalho, L. H., Filho F. G. R. ve D'Almeida, J. R. M.** (2007). Immersion temperature effects on the water absorption behavior of hybrid lignocellulosic fiber reinforced-polyester matrix composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, **46**, 515-520.
- [18] **Abdul Khalil, H. P. S., Hanida, S., Kang, C. W. ve Nik Fuaad, N. A.** (2007). Agro-hybrid composite: The effects on mechanical and physical properties of oil palm fiber (EFB)/glass hybrid reinforced polyester composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **26**, 203-218.
- [19] **Idicula, M., Neelakantan, N. R., Oommen, Z., Joseph, K. ve Thomas, S.** (2005). A study of the mechanical properties of randomly oriented short banana and sisal hybrid fiber reinforced polyester composites, *Journal of Applied Polymer Science*, **96**, 1699-1709.
- [20] **Dieu, T. V., Liem, N. T., Mai, T. T. ve Tung, N. H.** (2004). Study on fabrication of BMC laminates based on unsaturated polyester resin reinforced by hybrid bamboo/glass fibers, *JSME International Journal Series A*, **47**, 570-573.
- [21] **Paiva Junior, C. Z., De Carvalho, L. H., Fonseca, V. M., Monteiro, S. N. ve D'Almeida, J. R. M.** (2004). Analyses of the tensile strength of polyester/hybrid ramie-cotton fabric composites, *Polymer Testing*, **23**, 131-135.

- [22] **Autar, K. K.** (2006). *Mechanics of Composite Materials*, Taylor & Francis Group, Florida, Amerika Birleşik Devletleri.
- [23] **Armstrong, K. B., Bevan, L. G. ve Cole II, W. F.** (2005). *Care and Repair of Advanced Composites*, SAE International, Amerika Birleşik Devletleri.
- [24] **Mohanty, A. K., Misra, M. ve Drzal, L. T.** (2005). *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, Taylor & Francis Group, Florida, Amerika Birleşik Devletleri.
- [25] **Mazumdar, S. K.** (2002). *Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering*, CRC Press, Florida, Amerika Birleşik Devletleri.
- [26] **Gay, D., Hoa, S. V. ve Tsai, S. W.** (2003). *Composite Materials Design and Applications*, CRC Press, Florida, Amerika Birleşik Devletleri.
- [27] **Url-1** <<http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/.../kompozit%20malzemeler.pdf>>, alındığı tarih: 04.12.2011.
- [28] **Tekeli, S., Tetik, O. ve Toygar, E.** (2007). *Örgülü kompozit malzemelerin Ansys ve Abaqus ile gerilme analizleri ve deneysel kırılma tokluğunun hesaplanması* (yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [29] **Url-2** <<http://www.camelyaf.com.tr/kutuphane/detay.aspx?...>>, alındığı tarih: 17.12.2011
- [30] **Prusty, R. K. ve Singh, J.** (2010). *Studies of tribological behavior and dielectric properties of bio-fiber reinforced composites* (lisans tezi), National Institute of Technology, Hindistan.
- [31] **Bismarck, A., Mishra, S. ve Lampke, T.** (2005). Plant fibers as reinforcement for green composites, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, Taylor & Francis Group, Florida, Amerika Birleşik Devletleri.
- [32] **Sparnins, E.** (2006). *Mechanical properties of flax fibers and their composites* (lisans tezi). Adres: <http://epubl.ltu.se/1402-1757/2006/60/LTU-LIC-0660-SE.pdf>
- [33] **Url-3** <<http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/.../icerik/kompozit.htm>>, alındığı tarih: 17.12.2011.
- [34] **Bodur, M. S., Bakkal, M.** (2010). *Geri dönüşüm işleminin tekstil atığı takviyeli polimer matrisli karma malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkisi*, (yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [35] **Berkalp, Ö., Bakkal, M., Yılmaz, Ş. ve Sadıkoğlu, T. G.** (2010). *Tekstil atıklarının değerlendirilmesi amacıyla otomotiv uygulamaları için darbe emici özelliğe sahip polimer matrisli kompozit ürün geliştirilmesi, tasarımı ve karakterizasyonu*, Tübitak Proje No: 107M354 Kapanış Raporu, İstanbul.
- [36] **DPT**, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Plastik Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu (2001), Yayın No:DPT:2547-ÖİK:563, Ankara.

- [37] **Demiryürek, O.** (2004). *Sentetik lif üretiminde kullanılan ekstrüderler ve ekstrüder-pompa sisteminin tasarım esasları* (yüksek lisans tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [38] **Url-4** <<http://www.plastics.com/extrusion-what-is-pg2.html>>, alındığı tarih: 17.12.2011
- [39] **Url-5** <<http://vidamilkovan.com/urunler/>>, alındığı tarih: 17.12.2011
- [40] **Bledzki, A. K., Faruk, O. ve Sperver, V. E.** (2006). Cars from bio-fibres, *Macromolecular Materials and Engineering*, **291**, 449-457.
- [41] **Holbery, J. ve Houston, D.** (2006). Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications, *JOM Journal of The Minerals*, **58**, 80-86.
- [42] **Url-6** <http://www.petkim.com.tr/UserFiles/file/uretim/urun_katalogu.pdf>, alındığı tarih: 23.11.2011.
- [43] **ASTM D638-10**, 2010. Standard test method for tensile properties of plastics, *ASTM International*, Amerika Birleşik Devletleri.
- [44] **Kartalis, C. N., Papasprides, C. D. ve Pfaendner, R.** (2000). Recycling of post-used PE packaging film using the restabilization technique, *Polymer Degredation and Stability*, **70**, 189-197.
- [45] **Url-7** <<http://www.yucelkompozit.com.tr/images2/File/POLIPOL%20337.pdf>> alındığı tarih: 23.04.2012.
- [46] **Url-8** <http://www.poliya.com.tr/urunler/yardimci_kimyasal/sertlestiriciler...>, alındığı tarih: 23.04.2012
- [47] **Url-9** <<http://www.petkim.com.tr/userfiles/file/uretim/kalitekontrol...>>, alındığı tarih: 03.05.2012

EKLER

EK A.1 : ÖCE-TKM (P) malzemesinin üretim maliyeti analizi (18.06.2012 tarihi itibariyle)

EK A.1

Hesap girdileri

Elektrik:

Elektrik birim fiyatı: 26,458 kr/kWh

Ekstrüder makinası: Motor: 22 kW
Isıtıcılar: 1,6 kW x 9 ad.
1,8 kW x 1 ad.
Toplam güç: $(22 + 1,6 \times 9 + 1,8 \times 1) \text{ kW} = 38,2 \text{ kW}$
Kırıcı (granulator): Motor: 5,5 kW
Etüv: Isıtıcı: 6,3 kW

Hammadde:

Parite bilgileri: 1 \$ = 1,8102 TL
1 € = 2,2892 TL

KDV: % 18

DYPE: 1560 \$/ton = 2,82 TL/kg

Cam elyaf: 2,55 €/kg + KDV = 6,89 TL/kg

Polyester reçine:

Polyester: 2,83 \$/kg + KDV = 6,05 TL/kg
Sertleştirici: 10,00 TL/kg + KDV = 11,80 TL/kg
Hızlandırıcı: 16,40 TL/kg + KDV = 19,35 TL/kg

İşçilik:

Asgari ücret: 886,50 TL/ay

Üretim süreleri (300 x 1000 mm tabakalı karma malzeme için):

Ekstrüderde üretim: 5 dk = 0,083 h
Ekstrüder-kırıcı taşınması: 3 dk = 0,050 h
Kırma işlemi: 5 dk = 0,083 h
Tabakalı yapı oluşturma: 5 dk = 0,083 h
Etüve taşınması: 5 dk = 0,083 h
Etüvde bekletme: 15 dk = 0,250 h
Prese taşınması: 3 dk = 0,050 h
Geri dönüşüm işlemi: 13 dk = 0,217 h
(Geri dönüşüm işlemi = Ekstrüder + Ekstrüder-kırıcı taşınması + Kırma)
Toplam üretim süresi: 72 dk = 1,200 h
[(Geri dönüşüm işlemi x 3) + Ekstrüder + Tabakalı yapı oluşturma + Etüv + Malzeme taşınmaları]

Hesaplar

Elektrik maliyeti:

Ekstrüder:	$38,2 \text{ kW} \times 0,083 \text{ h} \times 26,458 \text{ kr/kWh} = 83,89 \text{ kr}$
Kırıcı (granulator):	$5,5 \text{ kW} \times 0,083 \text{ h} \times 26,458 \text{ kr/kWh} = 12,08 \text{ kr}$
Etüv:	$6,3 \text{ kW} \times 0,250 \text{ h} \times 26,458 \text{ kr/kWh} = 41,67 \text{ kr}$
Toplam elektrik sarfıyatı:	$413,47 \text{ kr} = 4,13 \text{ TL}$ $[(\text{Ekstrüder} \times 4) + (\text{Kırıcı} \times 3) + \text{Etüv}]$

Hammadde maliyeti:

$t = 11 \text{ mm}$ ve $\rho = 1,021 \text{ gr/cm}^3$ için $3,37 \text{ kg}$ ($300 \times 1000 \text{ mm}$ plaka)

DYPE (% 69):	$3,37 \text{ kg} \times \% 69 \times 2,82 \text{ TL/kg} = 6,56 \text{ TL}$
Pamuk (% 12):	0,00 TL (Atık malzemeler kullanılmıştır.)
Cam elyaf (% 9):	$3,37 \text{ kg} \times \% 9 \times 6,89 \text{ TL/kg} = 2,09 \text{ TL}$
Polyester reçine (% 10):	2,06 TL
Polyester (% 9,92):	$3,37 \text{ kg} \times \% 9,92 \times 6,05 \text{ TL/kg} = 2,02 \text{ TL}$
Sertleştirici (% 0,07):	$3,37 \text{ kg} \times \% 0,07 \times 11,80 \text{ TL/kg} = 0,03 \text{ TL}$
Hızlandırıcı (% 0,01):	$3,37 \text{ kg} \times \% 0,01 \times 19,35 \text{ TL/kg} = 0,01 \text{ TL}$

Toplam hammadde maliyeti: $(6,56 + 0,00 + 2,09 + 2,06) \text{ TL} = 10,71 \text{ TL}$

İşçilik maliyeti:

1 işçi:	$[(886,50 \text{ TL}) / (22 \text{ gün} \times 8 \text{ h} \times 60 \text{ dk})] \times 72 \text{ dk}$
Toplam işçilik maliyeti:	$= 6,04 \text{ TL}$

Toplam üretim maliyeti: (Elektrik + Hammadde + İşçilik) maliyetleri
 $= (4,13 + 10,71 + 6,04) \text{ TL}$
 $= 20,88 \text{ TL}$

Ford Transit Ön Tampon: $105,93 \text{ TL} / 6 \text{ kg} = 17,66 \text{ TL/kg}$
 $(3 \times 300 \times 1000 \text{ mm}$ ve $\rho = 0,920 \text{ gr/cm}^3$ için $828 \text{ gr})$
 $17,66 \text{ TL/kg} \times (828 / 1000) \text{ kg}$
 $= 14,62 \text{ TL}$

Maliyet analizi sonucu

Çalışmada üretilen ÖCE-TKM (P) malzemesinin mevcut tampon malzemesine göre daha ekonomik olmadığı tespit edilmiştir.

$20,88 \text{ TL} > 14,62 \text{ TL}$

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Mehmet SAVAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : İzmit – 02.09.1982
Adres : Küçükbakkalköy Mah. Ali Ay Sok. No:15 D.5
Ataşehir 34750 İSTANBUL
E-Posta : mehmet savas7@gmail.com
Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi