



---

**Makale / Research Paper**

---

**Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Kompozit Malzemelerde  
Kullanılan Doğal Elyaf ve Dolgu Maddeleri**

Recep İLHAN<sup>1\*</sup>, Erol FEYZULLAHOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Lif ve Polimer Mühendisliği Bölümü,  
Bursa/TÜRKİYE

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kocaeli/TÜRKİYE  
\*recep.ilhan@btu.edu.tr

**Received/Geliş:** 29.01.2019

**Accepted/Kabul:** 28.04.2019

**Öz:** Teknolojinin gelişmesiyle birlikte saf haldeki malzemelerin yetersiz kalmasından dolayı kompozit malzemeler geliştirilmiş ve zamanla kullanım alanları çoğalmıştır. Cam elyaf takviyeli polyester (CTP) kompozit malzemeler, iyi mekanik dayanım, elastiklik, yüksek korozyon dayanımı ve ekonomiklik gibi özelliklere sahip olmalarından dolayı dünyada yaygın kullanıma sahiptirler. Bu nedenle günümüzde CTP kompozitlere farklı takviye ve dolgu malzemeleri eklenilerek malzeme özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışma sisal, jüt, kenaf vb. farklı doğal elyaf takviyesi ve cam kürecik, grafit, alümina vb. farklı dolgu maddesi kullanımının CTP kompozit malzemelerin özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmaları ele almaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde genel olarak doğal ve cam elyaf takviyeli polimer kompozitler hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümünde ise CTP kompozit malzemelerde kullanılan doğal elyaf takviyesinin ve dolgu maddelerinin malzeme özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmalar sunulmuştur. Yapılan çalışmalarda doğal elyafların ve dolgu maddelerinin farklı üretim yöntemleriyle CTP kompozit malzemelere başarıyla dahil edilebildikleri, malzeme özelliklerini iyileştirici etki yapabildikleri ve maliyeti düşürebildikleri görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Cam elyaf takviyeli polyester; doğal elyaf; dolgu maddesi.

---

**Natural Fibers and Filler Materials Used in Glass Fiber Reinforced  
Polyester (GFRP) Composite Materials**

**Abstract:** With the development of technology, composite materials have been developed due to the inadequacy of the pure materials and the usage areas have increased with time. Glass fiber reinforced polyester (GFRP) composite materials have widespread use in the world due to their properties such as good mechanical strength, elasticity, high corrosion resistance and economy. For this reason, it is aimed to improve material properties by adding different reinforced and filler materials to GFRP composites. In this study, the effects of using different materials such as sisal, jute, kenaf etc. different natural fiber reinforcement and glass beads, graphite, alumina etc. different filler material on the properties of GFRP composite materials were investigated. In the first part of the work, the information was given about natural and glass fiber reinforced polymer composites in general. In the second and third part of the study, studies were given to investigate the effect of natural fiber reinforcement and filler materials used in GFRP composite materials on material properties. In these studies, natural fibers and fillers can be successfully incorporated into GFRP composite materials by different production methods, they can improve the material properties and reduce the cost.

**Keywords:** Glass fiber reinforced polyester; natural fiber; filler material.

---

*Bu makaleye atıf yapmak için*

İlhan, R., Feyzulloğlu, E., "Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Kompozit Malzemelerde Kullanılan Doğal Elyaf ve Dolgu Maddeleri" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2019, 6(1); 355-381.

*How to cite this article*

İlhan, R., Feyzulloğlu, E., "Natural Fibers and Filling Materials Used in Glass Fiber Reinforced Polyester (GFRP) Composite Materials" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2019, 6(1); 355-381.

## 1. Giriş

Kompozit malzemeler iki ya da daha fazla farklı bileşenin birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde bir araya getirilerek istenilen özelliklerin elde edildiği bir malzeme türüdür. Kompozit malzemeler genellikle matris, takviye ve dolgu bileşenlerinden oluşmaktadır. Kompozit malzemeler, endüstri ihtiyacının büyük bir kısmını oluşturdukları için önemlidirler. Bu sebeple kompozit malzemelerin etkinliğini artırabilmek için çeşitli takviye ve dolgu eklentileri ile imalatları gerçekleştirilerek performanslarının artırılması hedeflenmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalarda elyaf ve reçine malzemesinin birlikte uyumunun çok iyi olduğu tespit edilmiş ve elyaf takviyeli polimer kompozitler günümüzde farklı amaçlar için yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemesi haline gelmiştir. Elyaf takviyeli polimer kompozitler için “Fiber reinforced polymer” ifadesi literatürde kullanılmaktadır. Yapılan birçok çalışmada matris malzemesi olarak polyeesterin kullanılmasından dolayı bu ifade “Fiber reinforced polyester” olarak da adlandırılmaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri, ilave materyallerin (tip, miktar, lif dağılımı ve yönlendirme) özelliklerine bağlıdır. Bunun yanında arayüz bağlarının yapısı ve ara yüzde gerçekleşen yük aktarım mekanizmaları da önem arz etmektedir [1]. Bu tür malzemelerde cam, karbon, aramid, bor gibi sentetik elyaflar ile sisal, jüt, kenaf, bambu, pamuk gibi doğal elyaflar takviye fazı olarak kullanılır. Reçine malzemesi olarak termoplastik ve termosetler kullanılmaktadır. Termosetler ucuz ve kolay üretilebilirlikleri nedeniyle termoplastiklere göre daha çok tercih edilmektedirler. Epoksi, polyester, vinilester, fenolik reçineler yaygın olarak kullanılan termosetlerdir. Genellikle yapılan araştırmalarda epoksi reçine karbon elyafıyla, polyester reçine ise cam elyafı ile kullanılmıştır. Epoksi reçineler iyi mekanik özelliklere, iyi kimyasal ve aşınma direncine ve iyi elektriksel özelliklere sahip olmasına rağmen maliyet olarak polyesterden pahalıdır. Bu durum polyeesterin matris malzemesi olarak kullanımını cazip hale getirmektedir. Polyester ekonomik, çevresel ve kimyasal etkilere dayanıklı ve viskozitesi düşük olduğu için ıslatma kabiliyeti yüksek olan bir reçinedir [2]. Cam elyafı yüksek çekme mukavemeti, iyi kimyasal dayanım, elektriksel yalıtıcılık ve ekonomiklik nedeniyle polimer matrisli kompozitlerde ideal takviye elemanı olarak kullanılır [3].

Ülkemizde cam elyaf sektörünün gelişmiş olması nedeniyle ucuz ve kolay olarak bulunabilmektedir. Malzeme üretimlerinde polyester/cam elyaf birleşimi kompozitlerin diğer termoset/elyaf kompozitlere kıyasla daha ekonomik olduğu görülmüştür. Bu durum cam elyaf takviyeli polyester (CTP) kompozit malzemelerin gelişimini sağlamıştır. CTP; cam elyafı ile takviye edilerek fiziksel ve kimyasal mukavemet değerleri artırılmış farklı çevresel ortamlara dirençli olan polyester reçineden oluşan kompozit malzemelerin genel adıdır. CTP malzemeler iyi elastiklik, hafiflik, yüksek korozyon dayanımı, iyi dielektriklik vb. özellikleri nedeniyle inşaat, otomotiv, elektrik-elektronik, havacılık, denizcilik gibi sektörlerde kullanılmaktadır [4]. Özellikle son 20 yılda yapılan çalışmalarda CTP kompozitlerde kullanılan sentetik elyafların kullanımı azaltılarak ekonomik ve çevre dostu (biyobozunur) malzemelerin üretimi hedeflenmektedir.

Sentetik elyaflar yenilenemeyen ve ilave işlem aşamaları gerektirdikleri için maliyeti pahalı elyaflardır. Doğal elyaflar, doğada her zaman bulunabilmesi nedeniyle yenilenebilir kaynaktır. Ayrıca çok az ilave işlem gerektirdikleri için ekonomiklik sağlamaktadır. Doğal elyaf takviyeli polimer kompozitler düşük yoğunluklu ve yüksek spesifik özelliklere sahip hafif kompozit yapılarıdır. Sentetik elyaflara kıyasla işleme ile ilgili maliyet avantajları sağlamaktadır. Fakat yapılan araştırmalarda doğal elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri sentetik elyaflı yapılara göre daha düşüktür. Bu nedenle son yıllardaki akademik çalışmalarda doğal elyaflar sentetik elyaflarla birlikte kullanılarak hibrid (karma) yapılar oluşturulmuştur. Bu şekilde ekonomik ve mekanik özellikleri iyi olan kompozitler elde edilmiştir. Tropikal bölgelerde tarım etkinliklerinin fazla ve sürdürülebilir olması nedeniyle tarımsal atıklardan elyaflar oluşturulmakta ve yeni nesil

kompozit malzemelerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Böylelikle atıkların yok edilmesi için gerekli maliyetler azalmakta ve atık sorunu oluşmadığı için ekolojik denge bozulmamaktadır.

CTP kompozitlerde bir diğer önemli ilave materyal dolgu malzemeleridir. Dolgu malzemeleri kompozitin performansını direk olarak etkileyerek işleme maliyetlerini düşürür ve ideal çözümler üretir. Dolgu malzemeleri organik ya da inorganik olarak tanımlanır.  $Al_2O_3$ , cam kürecik,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ , grafit, kil,  $ZnO_2$  vb. eklentiler CTP kompozitlerde yaygın olarak kullanılan dolgu malzemeleridir. Dolgu malzemeleri kompozitlerin alev dayanımını artırması, reçine malzemesinin mekanik özelliklerini iyileştirmesi, reçine ve takviye elemanı arasında gerçekleşen yük aktarım mekanizmalarında uygun ara yüzey oluşmasına yardımcı olması sebebiyle farklı amaçlar için CTP kompozit malzemelerde kullanılır. CTP kompozitlerde fazlar arası geçiş bölgesi çok önemlidir. Bu bölgede matristen elyaflara yük aktarımı gerçekleşmektedir. Nano parçacık ilaveleri çok küçük boyutlarda kompozit içerisine eklenir ve homojen dağılım sağlanır. Böylelikle daha iyi malzeme özellikleri elde edilmiş olunur. Homojen dağılım kompozit yapılarda önemli avantajlar sağladığı için son dönemlerde çok işlevli nano-kompozit yapıların araştırılmasına önem verilmiştir.

## 2. CTP Kompozit Malzemelerde Takviye Elemanı Olarak Kullanılan Doğal Elyaf lar

Bu bölümde CTP kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan farklı tipteki doğal elyafların temel özellikleri ve kompozit malzemenin özelliklerinde yapmış olduğu iyileştirmeler incelenecektir.

### a) Jüt ve cam elyaf:

Jüt elyafı Corchorus cinsi Tiliceae familyasına ait odunsu yapıdaki jüt bitkisinden elde edilmektedir. Jüt Bangladeş, Hindistan, Çin ve Tayland gibi güney asya ülkelerinde yaygın olarak yetiştirilmekte olup 2,5 ile 3,5 metre yüksekliğe kadar ulaşabilmektedir. Fakat bu ülkeler arasında jüt elyafın %90'lık üretim hacmine sahip Bangladeş ön plana çıkmaktadır. Jüt pamuktan sonra ikinci önemli elyaf çeşidi olup doğal elyaflar arasında en ucuz ve en dayanıklı olanlarından biridir [5]. Jüt elyafı; biyobozunur, yenilenebilir, yüksek özgül mukavemet ve sertlik, iyi mekanik ve termal özelliklerin yanında iyi yalıtım özelliklerine sahip ucuz bir elyaf türüdür [5, 6]. Jüt elyafın yapısında %61-71 selüloz, %13,6-20,4 hemi selüloz, %12-13 lignin, %0,5-2 pektin, %0,5 vaks ve %12,6 oranında nem bulunmaktadır. Jüt elyafın özellikleri diğer bitkisel elyaflarda olduğu gibi bitkinin yapısına, yetiştirildiği bölgeye, bitkinin yaşına ve kullanılan ekstraksiyon yöntemine bağlıdır. Jüt elyafının yoğunluk değerleri ( $1,3-1,46 \text{ g/cm}^3$ ) arasında olup çekme mukavemeti değerleri (393-800 MPa) ve young modülü değerleri (10-300GPa) arasında değişmektedir [5]. Jüt elyafı çuval, halı, halatlar ve iplerde kullanılmaktadır. Ayrıca kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanıldıklarında otomotiv, inşaat, mobilya ve ambalaj sanayi gibi farklı endüstriyel alanlarda da kullanılmaktadır [5, 6].

İzoftalik polye ster reçine içerisine dokuma jüt ve cam elyaf birlikte takviye edilerek, katmanlı hibrid bir yapı oluşturulmaktadır. Toplamda 10 katmanlı olacak şekilde CTP malzeme hazırlanmıştır. Yapılan çalışmalarda cam elyaf lı katmanların kullanım miktarları ve kullanım yerleri değiştirilerek katmanlama sırasının malzemenin çekme, eğilme ve tabakalar arası kesme mukavemetine etkisi araştırılmaktadır. Jüt elyafa cam elyaf ilavesinin hibrid kompozitlerin özelliklerini geliştirdiği ve katmanlama sırasının (cam katmanların konumunun değiştirilmesi) eğilme ve tabakalar arası kesme mukavemetine önemli etki yaptığı gözlemlenilmektedir [7].

Sentetik elyaf kullanımını azaltmak, toplam maliyeti düşürmek ve mekanik özellikleri arttırmak için cam/jüt takviyeli polye ster kompozitler oluşturularak doğal elyaf takviyesinin cam elyaf takviyeli polye ster kompozit malzeme üzerine etkisi araştırılmakta ve mekanik özellikleri analiz

edilmektedir. Optimum miktarda doğal elyafın dahil edilmesi ile sentetik elyaf takviyeli polyester kompozitlerin toplam mukavemetinin artırılabilmesi ve maliyet tasarrufunun %20 'den fazla olabileceği görülmektedir [8].

Jüt / cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerde ultraviyole ışın (UV) radyasyonunun mekanik özelliklere etkisi araştırılmaktadır. Jüt esaslı bir yapıya cam elyaf ilavesinin mekanik özelliklerde pozitif etki yaptığı görülmektedir. UV ışın ile mukavemet değerlerinde değişiklik ve UV'nin yüzey modifikasyonuna etki ettiği tespit edilmektedir. Elyafın UV ışınları ile muamele edilerek uygun ağırlık yüzeylerinde bir araya getirilmesinin mekanik özellikleri iyileştirilebileceği görülmektedir [9].

Jüt / cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerde farklı ağırlık yüzdelerinde ilave edilen iki elyafın mekanik özelliklere etkisi ve cam elyafın jüt takviyeli polyester kompozitlerin su emme davranışı üzerine etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda; kompozitlerin çekme ve darbe özelliklerinin jüt elyafın cam elyaf ile birleşmesiyle iyileştiği görülmektedir. Ağırlıkça %16 oranında cam elyaf ilave edildiğinde tabakalar arası kesme mukavemetinde artış görüldüğü bu değerden sonra cam elyaf ilavesinin herhangi bir gelişme göstermediği, cam elyaf ilavesi ile kompozitlerin neme karşı direncinin arttığı gözlemlenilmektedir. Ayrıca taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile elde edilen görüntülerde jüt elyafı ile matris ara yüzeyindeki yapışmanın iyi olmadığı görülmektedir [10].

Farklı elyaf kompozisyonlarına sahip (50:50), (40:60), (30:70) jüt / cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerin mekanik özellikleri test edilmektedir. Araştırmalarda, %50 jüt ve %50 cam elyaftan oluşan numunenin çekme ve darbe dayanımının diğer iki numuneye göre daha iyi olduğu görülmektedir. %40 Jüt ve %60 cam elyaf içeren numunenin ise eğilme mukavemetinin diğer numunelerden iyi olduğu görülmektedir [11].

#### **b) Sisal-jüt ve cam elyaf:**

Sisal (Agave sisalana) agavacea familyasına ait 100-150 cm boyunda ve 13-15 cm genişliğinde kılıç şeklindeki yapraklardan oluşan otsu bir bitkidir. Sisal bitkisinin ömrü 7-10 yıl arasında değişmekte olup 200-250 arasında yaprak üretmektedir. Her yapraktan yaklaşık olarak 1000 lif demeti elde edilebilmektedir. Sisal 25 °C'nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde yaşayan tropik ya da subtropik bir bitkidir. Brezilya ve Tanzanya, sisal bitkisinin iki ana üreticisi ülkelerdir. Sisal elyafları sisal yaprağının toplam ağırlığının %4'nü oluşturmaktadır. Geriye kalan kısmını ise %0,75 kütükül, %8 mezofil ve dregler ve %87,28 oranında sudan oluşmaktadır. Genel olarak sisal elyafının yapısında %67-78 selüloz, %10-14,2 hemiselüloz, %8-10 lignin, %2 vaks, %1 kül ve %1 oranında sudan oluşmaktadır. Sisal elyafları yüksek mukavemet, yüksek aşınma direnci, asit-alkali ve korozyona karşı mükemmel direnç ve düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir [5, 6, 12].

Sisal-jüt-cam elyaf takviyeli polyester kompozitler geliştirilmekte ve çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve darbe mukavemeti gibi mekanik özellikler incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda yüzey özellikleri, iç çatlaklar ve kırık yüzeylerin içyapısı taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak gözlemlenilmektedir. Deneysel sonuçlar sisal-jütlü elyafın CTP ile birleştirilmesinin kompozitin özelliklerini geliştirebileceğini ve bu malzemelerin CTP kompozitlere alternatif olarak kullanılabileceği göstermektedir [13].

#### **c) Kenaf ve cam elyaf:**

Kenaf farklı toprak türlerine kolay uyum sağlayabilmesinden dolayı çok yönlü bir bitki olarak görülmektedir. Kenaf bitkisi farklı hava koşullarında 3 ay içerisinde 3 metreden daha fazla yükseklik değerlerine ve 3-5 cm arasında değişen çaplara sahip olabilmektedir. Kenaf 1970'li yıllarda Malezya'da ortaya çıkmasına rağmen günümüzde yaklaşık olarak 20 farklı ülkede

yetiştirilmektedir. Bu ticari yetiştiriciliğin %95'lik kısmını Hindistan, Bangladeş, Çin ve Tayland üstlenmektedir. Dünyada kenaf yetiştiriciliğinin yaygın olmasının iki temel nedeni bulunmaktadır. Bu faktörlerden ilki toprakta bulunan azot ve fosforu emebilmesi diğer i se yapısında yüksek oranda karbondioksiti biriktirebilmesi sayesinde kenafın fotosentez oranının diğer ağaçların fotosentez oranından çok daha yüksek olmasıdır. 1990'ların sonunda kenaf lifi selüloz, kâğıt ve ahşap kompozit endüstrisi için alternatif lif malzemesi olarak görülmeye başlanmıştır. Kenaf selüloz, hemiselüloz, lignin, ekstraktlar ve inorganik maddelerden oluşmaktadır. Kenaf elyafları yüksek yoğunluk ve mekanik mukavemete sahip olmaları nedeniyle yüksek mukavemetin gerekli olduğu otomotiv uygulamalarında ve kompozit sektöründe takviye elemanı olarak kullanılmaktadır [5, 14-16].

Doymamış polyester reçine, kenaf ve cam elyafı ile güçlendirilerek kenaf/cam elyaf takviyeli hibrid kompozitler oluşturulmaktadır. Numuneler farklı çevresel ortamlarda (deniz suyu, damıtılmış su ve yağmur suyu) 1 günden 4 hafta'ya kadar farklı zaman dilimlerinde oda sıcaklığında bekletilerek su emme testine tabi tutulmuştur. Farklı çevresel ortamlara daldırılan numunelere çekme testi uygulanarak mekanik performansları incelenmiştir. Sonuçlara göre daldırılan numunelerin özellikleri daldırılmadan önceki durumlarına göre azaldığı gözlenilmektedir. Genel olarak nemin numunelerin içine nüfuz ettikten sonra kenaf elyafının yapısını bozduğu görülmektedir [17].

Kenaf ve cam elyafın doymamış polyester reçincede takviye malzemesi olarak kullanıldığı hibrid kompozitlerde elyaflarda kullanılan farklı örgü desenlerinin mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmektedir. Farklı örgü desenlerinin kullanıldığı numuneler çözgü yönünde kenaf elyaf ile atkı yönünde cam elyaf, çözgü yönünde cam elyaf ile atkı yönünde kenaf elyafın kullanıldığı iki farklı şekilde oluşturulmaktadır. Deneysel sonuçlarda; örgü desenlerinin kompozit malzemelerin çekme özelliklerini etkilediği görülmektedir. Çözgü yönünde cam elyafın kullanılmasının kenaf elyafına göre çekme mukavemetini arttırmada daha etkili olduğu görülmektedir. Elyafların kırılma yüzeyleri SEM ile analiz edilerek bazı örgü desenlerinde elyaf ile matrisin güçlü şekilde birbirine bağlandığı ve kompozitlerin yüksek yüklemeye altında dayanıklılıklarını koruyabilecekleri belirtilmektedir [18].

Doymamış polyester reçincede kenaf ve cam elyaf takviyeleri kullanılarak el yatırması tekniği ile hibrid kompozitler oluşturularak farklı elyaf kullanımının kompozit malzemelerin çekme mukavemetine, çekme modülüne ve kopma uzamasına etkisi araştırılmaktadır. Deneysel sonuçlarda en iyi çekme mukavemeti ve modül değerine %10 kenaf elyafı ile %10 CE takviyesi ile elde edildiği görülmektedir. Ayrıca kenaf takviyeli polyester reçineli kompozitlere CE takviyesinin çekme özelliklerini geliştirdiği görülmektedir [19].

#### **d) Sisal ve cam elyaf:**

Doymamış polyester reçineye sisal, cam, sisal/cam elyaf takviyeleriyle numuneler oluşturulmuş ve numunelere ağırlıkça % (1,2,3) tebeşir tozu eklenerek numunelerin termal iletkenlikleri üzerine etkisi incelenilmiştir. Sisal/cam elyaf takviyeli hibrid kompozitin ısı iletkenliği sisal takviyeli kompozitten daha yüksek, ancak cam elyaf takviyeli kompozitten daha düşük olduğu görülmektedir. Hibrid kompozitin ısı iletkenliğindeki artışın cam elyaf içeriğinden kaynaklandığı belirlenmekte ve numunelere eklenen tebeşir tozu miktarı arttıka termal iletkenliğin arttığı gözlemlenilmektedir [20].

Sisal/cam elyaf takviyeli kompozitlerin darbe ve basma dayanımı özellikleri incelenmektedir. Numunelerin darbe dayanımının cam elyaf artışı ile doğrusal olarak arttığı gözlemlenilmektedir. Basınç dayanımında ise belirgin değişikliklerin olmadığı ve çok az arttığı görülmektedir. Ayrıca elyaflar NaOH ve trimetoksisilan ile işleme sokularak bağlama maddelerinin kompozitlerin darbe, basma dayanımı özellikleri üzerine etkisi incelenmektedir. Bu işlemlerin sonucunda darbe dayanımında belirgin bir gelişme görülürken, basma dayanımında çok az artış görülmektedir [21].

Doymamış polyester esaslı sisal / cam hibrid bileşiklerinin eğilme mukavemeti ve eğilme modülü elyaf içeriğinin fonksiyonu olarak incelenmektedir. Artan cam elyaf içeriğiyle birlikte hibrid kompozitlerdeki toplam elyaf içeriği ile eğilme özelliklerinde artış gözlemlenilmektedir. Ayrıca lifler alkali ve silan ile işleme sokularak eğilme özellikleri üzerine etkileri araştırılmaktadır. Silan işleminin hibrid bileşiklerin eğilme özelliklerine çok etkisinin olmadığı, fakat alkali işlemi ile çok az artış olduğu gözlemlenmiştir [22].

Doğal elyaf ve sentetik elyaf bileşenlerinin faydalı özelliklerinden yararlanılabilmek için aynı matris (doymamış polyester) içerisine takviyeleri sağlanılarak sisal / cam hibrid kompozitler oluşturularak çekme mukavemetinin değişimi elyaf içeriğinin fonksiyonu olarak gözlemlenilmektedir. Yapılan çalışmalarda çekme mukavemetinin cam elyaf içeriği ve hibrid kompozitlerdeki toplam elyaf içeriğinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Ayrıca elyaflar alkali ve silan ile işleme sokularak çekme özellikleri incelenmiş ve birleştirme ajanlarının kullanımının çekme mukavemetinde belirgin artış sağladığı tespit edilmektedir [23].

Test numuneleri %30/70, 50/50, 70/30 ağırlık oranlarına sahip cam elyafı ile sisal elyafı kullanılarak oluşturulmuş ve sisal / cam elyaf takviyeli polyester hibrid kompozitlerin mekanik davranışları incelenmektedir. Sonuçlar; %30/70 cam elyaf-sisal bileşiminin çekme mukavemeti, %70/30 cam elyaf-sisal bileşiminin eğilme mukavemeti ve %50/50 cam elyaf-sisal bileşiminin darbe dayanıklılığının diğer iki kompozitten daha iyi olduğu gözlemlenilmektedir [24].

#### e) Pamuk ve cam elyaf:

Pamuk bitkisi sıcak, nemli subtropikal iklime sahip ülkelerde yetişmekte olup çok yanıcı özelliğe ve düşük aşınma direncine sahiptir. Pamuk dünyada yaklaşık olarak 80 farklı ülkede yetiştirilmektedir. Türkiye, Hindistan, ABD, Pakistan, Özbekistan ve Brezilya toplam pamuk tüketiminin %81'lik kısmını karşılayarak en önemli pamuk üreticisi olan ülkelerdir. İnsanoğlu eski yıllardan bu yana farklı coğrafyalarda pamuk elyafını yaygın olarak kullanmaktadır. Pamuk istenen elyaf özelliklerine sahip tekstil uygulamaları için vazgeçilmez bir elyaf türüdür. Rahat ve dayanıklı tekstil kumaşları üretilebilmektedir. Pamuk elyafları Malvales, Malvaceae ailesi, Gossypieae ve Gossypium cinsi bitkilerden elde edilmektedir. 2004 yılında dünyadaki toplam elyaf tüketiminin %40'luk kısmını oluşturmaktaydı. Yıllık 25,5 milyondan fazla tüketimi olan pamuk elyafı her yıl bu tüketim miktarını %2 oranında arttırmaktadır. Diğer elyaf türlerinin nem ile dayanım değerleri azalırken pamuk elyafının nem ile dayanımı artmaktadır. Bu durum pamuk elyafının en belirgin özelliği olup kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanımını arttırmaktadır. Pamuk elyafları çoğunlukla selülozdan oluşmakta fakat ağırlığının %10'undan az kısmı ise vaks, protein, pektat ve mineral gibi farklı bileşenlerden oluşmaktadır. Pamuğun türüne ve yetiştirilme koşullarına bağlı olarak pamuk elyafları beyaz ve sarımsı renkte olabilmektedir. Uzunlukları 22-50 mm arasında, çapları ise 18-25µm arasında değişmektedir. Giyim, ev mobilyaları ve endüstriyel ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [25, 26].

Tekstil endüstrisinde atık halde bulunan pamuk elyafı ile cam elyafı birlikte kullanılarak oluşturulan pamuk / cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerin mekanik ve dinamik-mekanik özelliklerine katmanlama (laminant) sırasının etkisi değerlendirilmektedir. Hibrid kompozitlerin özellikleri ile saf haldeki kompozit özelliklerinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda depolama modülünün cam elyaf içeriği ile arttığı gözlemlenmiştir. Katmanlara cam elyaf ilavesi ile optimum özellikler elde edilebilmektedir [27].

#### f) Hindistan cevizi ve cam elyaf:

Hindistan cevizi elyafı sert elyaf grubunda bulunan lignoselülozik doğal elyaftır. Yüksek gerilme mukavemeti ve uzamaya sahip olması nedeniyle mühendislik malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Yapısında yüksek lignin içeriğinden dolayı diğer doğal elyaflara kıyasla kimyasal direnci yüksek ve raf ömrü uzun olmaktadır. Hindistan cevizi elyaf endüstrisi her geçen gün gelişmekte olup ticari olarak Filipinler, Endonezya, Hindistan ve Sri Lanka gibi ülkelerde yaygın olarak üretilmektedir. Hindistan cevizi elyafı toksik olmayan, hafif, elastik, yüksek mekanik aşınma direnci, yüksek su tutabilme kabiliyeti, yüksek ısı ve ses yalıtımı, düşük maliyet, biyobozunur ve yenilenebilir vb. farklı özelliklere sahip olmaktadır. Hindistan cevizi elyafı mobilya ürünlerinde, iplikler, halatlar, keçelerde, fırçalarda ve yalıtım panelleri gibi farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır [5, 6].

Polyester reçine hacmi sabit tutularak farklı hacim oranlarında % (10:20), (15:15), (20:10) hindistan cevizi elyafı ile cam elyaf birlikte reçineye takviye edilerek hibrid numuneler oluşturulmakta ve malzemelerin mekanik davranışlarını değerlendirmek için çekme, eğilme ve darbe testleri yapılmaktadır. Malzemelerin çekme mukavemeti ve modülü hibrid kompozitte cam elyaf hacminin artması ile artmış ve en yüksek değerler (10:20) hacim oranlarında elde edilmiştir. Eğilme mukavemetinin ve modülünün (10:20) hacimde diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek darbe enerjisi ve dayanımı ise (15:15) hacim oranında elde edilmiştir [28].

Hindistan cevizi elyaf takviyeli polyester ve hindistan cevizi / cam elyaf takviyeli polyester kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri karşılaştırmalı olarak araştırılmaktadır. Cam elyafı sandviç kompozitlerin daha az su emdiği dolayısıyla numunelerde daha az neme rastlandığı tesbit edilmektedir. Cam elyaf içeren numunelerin cam elyaf içermeyenlere kıyasla daha iyi çekme mukavemetine sahip olduğu görülmektedir [29].

#### **g) Muz ve cam elyaf:**

Muz elyafı, bitki gövdesinden elde edilen lignoselülozik esaslı doğal takviye malzemesidir. Yapısında yüksek oranlarda selüloz içermesi nedeniyle iyi mekanik özelliklere sahiptir. Konvansiyonel malzemelerle karşılaştırıldığında düşük yoğunluğa ve iyi dayanıklılığa sahiptir. Muz elyafı yüksek mukavemet, hafiflik, düşük uzama, iyi alev dayanımı, yüksek nem emilimi ve biyobozunur özelliklere sahiptir. Muz elyafı genellikle giyim ve ev eşyalarında kullanılmasına rağmen filtre kâğıdı, dekoratif kâğıt, ip, paspas ve kompozit malzemeler gibi farklı uygulamalarda da kullanılmaktadır. Polipropilen matris malzemesine takviye edilerek otomobil zemin koruma panellerinde kullanılmaktadır. Muz elyafı cam elyaf gibi sentetik elyaflara kıyasla ucuz, hafif ve çevreci oluşu nedeniyle gelecek yıllarda kullanımının artması beklenmektedir [30-32].

Muz kabuğu elyafı ile cam elyaf takviyeli polyestere %5 oranda palmye yağı ve boş meyve partikülleri eklenerek hibrid kompozitler oluşturularak fiziksel (yoğunluk, su emme) ve mekanik (çekme, eğilme, darbe ve sertlik) özellikleri araştırılmaktadır. Araştırma sonuçlarında; cam elyaf kompozitin muz elyafı kompozite göre daha iyi çekme mukavemetine sahip olduğu görülmüştür. Muz elyaf içeriği artışı ile eğilme mukavemeti azalırken, cam elyafı ile eğilme mukavemetinin arttığı görülmektedir. Muz elyaf içeriğinin artışı ile kompozitin sertliğinde artış görülmektedir. Darbe mukavemetinin maksimum değeri eşit oranda muz ve cam elyaf içeren numunede görülmektedir. Muz elyaf içeriğinin artmasıyla yoğunluk ve su emme gibi fiziksel özelliklerin arttığı tespit edilmektedir [32].

Saf polyester, muz / polyester ve muz / cam / polyester kompozitlerin ısı iletkenlik varyasyonları ve difüzyon özellikleri incelenmektedir. Saf polyester içeren numuneye kıyasla elyaf takviyeli kompozitlerin daha iyi termal iletkenlik gösterdiği tespit edilmektedir. Hibrid kompozitlerin termal iletkenliklerinin saf muz elyaf takviyeli polyester kompozitlerden daha düşük olduğu, kompozitlerde artan cam elyafı ile termal iletkenliğin azaldığı görülmektedir [33].

Düz polyester reçine ile muz ve cam elyaf takviyeli hibrid polyester kompozit malzemelerin mekanik ve dielektrik özellikleri incelenmektedir. Kompozit malzemelere farklı frekans ve sıcaklık

değerlerinde dinamik mekanik analiz (DMA) yapılarak sıcaklığın kompozit malzemelerin depolama modülü, kayıp modülü ve kayıp faktörüne etkileri incelenerek düz polyester reçine ve hibrid kompozitlerin karşılaştırılması yapılmaktadır. Tabakaların farklı dizimlerinden kompozit malzemelerin dinamik özelliklerinin etkilendiği görülmektedir. Kompozit malzemelerin dielektriksel özellikleri ise hem cam elyaf oranından hemde tabakaların yerleştirilme düzeninden etkilendiği görülerek düşük cam elyaf oranına sahip kompozitlerin düşük dielektrik sabiti değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Uygun tabaka dizaynı ile farklı elyaf türleri arasındaki uyumsuzluğun azaltılabileceği ve iyi malzeme özelliklerinin elde edilebileceği belirtilmektedir [34].

Muz elyafı ve cam elyafı birlikte takviye edilerek vakum torbalama yöntemiyle farklı kompozisyonlara sahip tabakalı hibrid kompozitler oluşturularak elyaf kullanımının mekanik özellikler üzerine etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda; tamamen cam elyaf takviyesinden oluşan kompozit numunenin maksimum çekme-eğilme-basma dayanımı ve sertlik değerine sahip olduğu görülürken tamamen muz elyaf takviyesinden oluşan numunenin minimum çekme-eğilme-basma dayanımı ve sertlik değerine sahip olduğu ve cam elyafı yapıya muz elyafın dahil edilmesi ile su emiliminin arttığı gözlemlenmektedir. Sonuç olarak tabakalı yapıda cam elyaf kullanımının artması ile mekanik özelliklerin geliştiği ve muz-cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerin orta yük uygulamalarında tercih edilebilecekleri belirtilmektedir [35].

#### **h) Kenevir ve cam elyaf:**

Kenevir, ilkbaharda ekilen sonbaharda ise hasat edilen güçlü ve yıllık otsu bir bitkidir. Kenevir bitkisinin uzunluğu 2-5 m arasında değişmekte olup aslında orta Asya'ya özgü olan bu bitki türü, şu an Avrupa'da da yaygın olarak yetiştirilmektedir. Kenevir kullanımının çok eski tarihlere dayandığı ve MÖ 8000 yıllarına dayanan mezarlarda kenevir kumaş parçalarına rastlandığı belirtilmektedir. Sisal elyafından sonra kenevir elyafı kompozit malzemelerde yaygın kullanıma sahip doğal elyaflardandır. Kenevir elyafı yüksek spesifik mukavemet ve sertlik, düşük yoğunluk, düşük üretim maliyeti, sentetik elyaflara kıyasla ekolojik olması ve yenilenebilir olması gibi birçok avantaja sahip olmaktadır. Kenevir elyafının yapısında yaklaşık olarak %67 selüloz, %16,1 hemiselüloz, %0,8 pektin, %3,3 lignin ve %2,8 diğer bileşenler bulunmaktadır. Bu nedenle elyafların fiziksel özellikleri yapısında bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignine bağlı olmaktadır. Kenevir elyafları genellikle termoplastik reçine ile birleştirilerek düşük üretim maliyeti, tasarım esnekliği ve karmaşık parçaların kolay kalıplanabilmesi gibi avantajlar yakalanabilmektedir. Fakat bu tür kompozit malzemeler doğal elyafların termal bozunmasını önlemek için 230 °C'nin altındaki sıcaklıklar değerlerinde kullanılmaktadır. Kenevir elyafı polyester, epoksi ve vinilester vb. termoset reçineler ile de kullanımı bulunmaktadır. Kenevir elyafı otomobil sektöründe ilk defa 1941 yılında Henry Ford otomobilinin karoseri kısmında reçine matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Bu yıllardan sonra ise kenevir elyafı kullanımı giderek artmış olup, günümüzde biyobozunur polimerlerde kullanılarak "yeşil" olarak adlandırılan çevre dostu kompozit yapılar oluşturulmaktadır [5, 36].

Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere kenevir elyafı eklenerek mekanik özelliklere olan etkileri değerlendirilmiş ve özellikleri karşılaştırılmaktadır. E-cam elyaflara kenevir elyafların eklenmesinin, bileşiklerin mekanik özelliklerini artırabileceğini ve hibrid kompozitlerin su emiliminin azaltılabileceği görülmektedir. Çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, darbe mukavemeti gibi kompozitlerin mekanik özelliklerinin tabaka diziliminden büyük ölçüde etkilendiği fark edilmektedir [37].

#### **i) Rami ve cam elyaf:**

Çin çimi olarak da bilinen rami, bilimsel adı Boehmeria Nivea olan çinde yetişen çok yıllık bir bitkidir. Rami bitkisi 3-10 fit yüksekliğe ve yarım inçten daha az çapa sahip olan yarı tropikal bir



bitkidir. Rami elyafı kompozit üretimleri için sentetik elyaflara benzer şekilde spesifik modül ve mukavemet değerlerine sahip olduğundan takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Rami elyafı beyaz renktedir ve güneş ışığına maruz kalsa bile renk değişimine uğramamaktadır. Diğer doğal elyaflara benzer kimyasal bileşimine sahip olmasına rağmen yüksek selüloz ve düşük lignin içeriğine sahip olmaktadır. Bu durum elyafın beyaz ve yumuşak olmasını sağlamaktadır. Rami elyaflarının spesifik young modülü değerleri çelik telden üstün ve E-cam elyafına ise yakın değerlerdedir. Rami elyaflarının avantajları; bakteri, alkali ve küfe karşı yüksek direnç, ıslatıldığında dayanıklılığının artması, şeklini koruyabilmesi ve dayanıklılık gibi özelliklerdir. Bu elyafların dezavantajları ise; düşük elastiklik, düşük aşınma direnci, sert ve kırılğan olması, yüksek maliyet ve diğer ticari elyaflara göre çok ön işlem gerektirmesidir. Rami elyafları endüstriyel dikiş ipliği, ambalaj malzemeleri, balık ağları, mendiller, paraşüt kumaşları, yangın hortumları ve filtre bezleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır [5, 6, 38, 39].

Rami elyafları distile suyla yıkanarak kimyasal kompozisyondaki ve termal kararlılığındaki değişiklikler incelenmekte ayrıca yıkanmış haldeki rami elyafı ile cam elyafı polyester matriste takviye elemanı olarak kullanılarak elyaf hacim oranının ve elyaf uzunluğunun malzeme özelliklerine etkisi incelenmektedir. Deneysel sonuçlarda yıkanmış haldeki rami elyafı ile doğal haldeki rami elyafı arasında farklılıkların olduğu termal analizler ile görülmekte ve yıkanmış haldeki rami elyafların polimer kompozitlerde kullanılabilmesi belirtilmektedir. Artan cam elyaf içeriği ile darbe mukavemetinin arttığı bunun sebebi olarak ise matris malzemesi ile cam elyafın rami elyafına göre daha iyi yapışma sağlayarak kompozitlerin iyi ara yüzey mukavemetine sahip olması olarak belirtilmektedir. Kompozitlerin eğilme mukavemetlerinin de cam elyaf oranının artması ile arttığı, fakat eğilme mukavemet değerlerinin elyaf uzunluğu ile çok değişmediği görülmektedir [40].

### 3. CTP Kompozit Malzemelerde Kullanılan Dolgu Maddeleri

Bu bölümde CTP kompozit malzemelerde kullanılan farklı tipteki dolgu maddelerinin temel özellikleri ve kompozit malzemenin özelliklerinde yapmış olduğu iyileştirmeler incelenecektir.

#### a) Nanokil:

Nano kil yüksek en boy oranı ve mükemmel interkalasyon özelliklerine sahiptir. Ayrıca yüzey alanının fazla olması nedeniyle akma dayanımını yükseltici etki yapabilmektedir. Bu nedenle son dönemlerde dolgu malzemesi olarak polimerlerde kullanımı artmıştır. Nanokilin polimer matrisine ilavesiyle gaz geçirgenliği azaltılır, iyi mekanik-elektriksel ve termal özellikler elde edilebilir ve alev geciktiricilik artırılmış olunur. Nanokilin üretim sırasında matris içerisine dağılımı zor olmaktadır. Ayrıca nanokil ilavesi ağırlıkça %10'a kadar yapılabilir. Bu orandan sonraki yüklemeler viskozite artışına neden olmakta ve verimliliği düşürmektedir. Bu nedenle kompozit malzemelere optimum oranlarda nano kil dolgu ilavesi yapılmalıdır. Optimum oranlarda nano kil içeren kompozit malzemeler yüksek sertlik ve yüksek ısıl bozulma sıcaklığıyla ön plana çıkmaktadır [41-45].

CTP kompozit numunelere farklı yüzdelerde nanokil dolgu ilavesi yapılarak kompozit malzemelerin mekanik ve morfolojik özellikleri incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda; nanokil ilavesinin düz polyester reçineye kıyasla malzeme özelliklerini iyileştirdiği ve %3'lük nanokil ilavesinde maksimum çekme ve eğilme mukavemeti değerleri elde edilerek optimum oranının %3'lük nanokil dolgu ilavesi olduğu belirtilmektedir [46].

CTP kompozitlere farklı ağırlık yüzdelerinde nanokil ilavesi yapılarak CTP kompozit malzemelerin mekanik ve termal özellikleri araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda; nanokompozitlerin çekme, eğilme ve darbe gibi mekanik özelliklerinin yanında termal kararlılık nedeniyle termal özelliklerinin de geliştirdiği görülmektedir [47].

### b) Füme silika:

Füme Silika (silis dumanı) 1947 yılında çevre kontrolü için fırınlardan çıkan egzoz gazlarının filtrelenmesi sırasında Norveç'te keşfedilmiştir. Füme silika yüksek silikon dioksit içeriğine sahip, çok ince küresel elemanlardan oluşmaktadır. Ayrıca bünyesinde az miktarlarda demir, magnezyum ve alkali oksit de içerebilmektedir. Füme Silika genellikle yüksek düzeyde geçirimsizliğin istendiği uygulamalarda ve yüksek mukavemetli beton uygulamalarında katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Füme Silika dolgu malzemesi olarak kullanıldığında polimerlerde dahil sıvı sistemlerin reolojik ve tiksotropik özelliklerini kontrol edebilmektedir. Reçineye katkı malzemesi olarak füme silika eklenmesi halindeyse reçinenin sarkması engellemekte böylelikle kompozit malzemelerin kalıplanması sırasında elyafların düzgün şekilde ıslanması sağlanmaktadır. Kompozit malzeme içerisinde dağılımı ise karışımın viskozitesine bağlı olmaktadır. Füme Silika dolgu malzemesi olarak kullanıldığında mukavemet ve modül değerleri, ses yalıtımı, titreşim sönümleme kabiliyeti, aşınma direnci, kimyasal direnç, termal genleşme katsayısı, termal iletkenlik ve dielektrik sabiti gibi özellikleri iyileştirilebilmektedir [48-50].

CTP kompozitlere farklı oranlarda füme silika (FS) ilavesi yapılarak dolgu maddesi kullanımının nanokompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda; FS ilavesinin çekme özelliklerini çok etkilemediği, eğilme özelliklerini belirgin şekilde iyileştirdiği ve SEM görüntüleriyle birlikte FS dolgu maddesi kullanımı polyester reçineyi gevrek bir yapıdan sünek bir yapıya dönüştürdüğü görülmektedir [49].

### c) Çinko oksit:

Çinko oksit (ZnO), buhar halindeki metalin oksijen ile reaksiyonu sonucunda oluşan kristal, beyaz veya sarımsı beyaz toz şeklinde bulunan inorganik bir dolgu malzemesidir. ZnO polimerlerde dolgu malzemesi olarak kullanıldığında güçlü ara yüzey özellikleri elde edilebilmektedir. Çinko oksit yüksek mekanik özelliklerinin yanında antibakteriyel aktiviteye, havadaki karbondioksiti emme özelliğine ve yüksek UV emilim özelliğine sahiptir. Suda ve alkolde çözülmemesine rağmen bazı asitlerde ve alkali çözeltilerde çözünebilmektedir. Partikül büyüklükleri 0,1 ile 0,4 µm arasında değişmekte olup spesifik yüzey alanı 10 ile 20 m<sup>2</sup>/g arasındadır. Nano boyutlu ZnO parçacıkları ortalama 36 nm partikül boyutuna ve 15-45 m<sup>2</sup>/g arasında değişen spesifik yüzey alanına sahiptir. ZnO lastik ya da plastiklerde hızlandırıcı olarak, kompozit malzemelerde ise dolgu malzemesi olarak kullanıldığında polimerlerin sertliğini, alev direncini ve elektriksel iletkenliklerini arttırmaktadır. ZnO önemli bir çapraz bağlayıcı olması nedeniyle kauçuk ve reçinelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Safsızlıklar malzeme özelliklerini ciddi şekilde etkileyebildiğinden çinko oksitin saflığı silikon kauçuk, polyester reçineler, poliolefinler ve boya gibi farklı uygulamalarda kullanılmaları için önemli olmaktadır. Farklı üretim yöntemleriyle yüksek saflığa (%99,99) sahip ZnO dolgu malzemeleri üretilebilmektedir. Genel olarak bakıldığında ZnO katalizörlerde, renklendiricilerde, optik malzemelerde, UV absorblayıcılarda ve kozmetik endüstrisi gibi farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır [51-53].

CTP kompozitlere farklı oranlarda (%1, 2, 4 ve 6) ZnO nano parçacık ilavesi yapılarak ZnO dolgu malzemesinin çekme mukavemeti ve sertlik gibi mekanik özelliklere etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda reçine/cam elyaf oranı farklı değerlerde (%70/30, %60/40, %50/50) tutularak cam elyaf oranının mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmektedir. Elde edilen sonuçlarda ZnO nano parçacıkların eklenmesi ile elyaf-matris arasındaki yapışmanın arttığı ve ağırlıkça %2 oranında ZnO dolgu ilavesi ile çekme mukavemeti ve sertlik değerlerinin iyileştiği görülmektedir. Farklı ağırlık yüzdelerindeki polyester ve cam elyaf karışımları karşılaştırıldığında (%50/50) oranındaki polyester-cam elyaf kimyasal kompozisyonunun diğerlerine göre mekanik özellikler bakımından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir [54].

Farklı bir çalışmada ağırlıkça (% 0, 1, 2, 3, 4, 5) çinko oksit (ZnO) dolgulu CTP kompozitlerin sentezi yapılarak karakterizasyonu ele alınmaktadır. Yapılan çalışmada eğilme mukavemeti %3'lük ZnO dolgu ilavesiyle %62,12 oranında iyileştirildiği, %3'ten sonraki dolgu ilavelerinde ise eğilme mukavemetinin düştüğü gözlemlenilmektedir. Kompozitlerin sertlik, darbe mukavemeti ve termal kararlılıkları ise artan dolgu içeriği ile birlikte artmaktadır [55].

Kumar ve diğ. çalışmalarında, Çinko oksit (ZnO) ve Titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) dolgu malzemelerinin CTP kompozitlerin mekanik ve aşınma özelliklerine etkisini araştırmıştır. Deneysel sonuçlarda; dolgu malzemelerinin ilavesi ile çekme mukavemetinin azaldığı fakat sertlik, eğilme mukavemeti, tabakalar arası kesme mukavemeti ve darbe mukavemeti gibi diğer mekanik özelliklerin arttığı görülmüştür. Diğer yandan TiO<sub>2</sub> dolgulu kompozitlerin ZnO dolgulu kompozitlere kıyasla daha iyi aşınma özellikleri sergilediği gözlemlenmiştir [56].

#### d) Uçucu kül ve çimento

Uçucu kül, kömür yanma ürünü olarak tanımlanmakta olup termik santrallerde elektrik üretmek amacıyla yakılan kömürden elde edilen atık bir üründür. Uçucu kül kömür yanma ürünlerinin %60-90'lık kısmını oluşturmaktadır. Uçucu külün yapısında silisyumdioksit (SiO<sub>2</sub>), alümina oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve düşük miktarlarda magnezyum oksit (MgO), kalsiyum oksit (CaO), potasyum oksit, sodyum oksit ve titanyum oksit bulunmaktadır. Uçucu kül oksit karışımlarından oluşması sebebiyle farklı seramik uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Uçucu külün rengi yanmamış karbon miktarına ve diğer oksit kirliliğine bağlı olarak açık renkten koyu renge kadar değişebilmektedir. Uçucu küllerin partikül boyutları 0,5-100 µm arasında, özgül ağırlıkları 1,9-2,9 g/cm<sup>3</sup> arasında, spesifik yüzey alanları ise 2800-3800 cm<sup>2</sup>/g arasında değişmektedir. Uçucu külün fiziksel özellikleri (boyut, renk) ve kimyasal özellikleri kullanılan kömürün türüne, kömürün yakılmadan önceki öğütülme durumuna, kullanılacak kazan türüne, yakma sıcaklığı gibi farklı işletme parametrelerinden etkilenebilmektedir. Uçucu kül hafiflik, mikro tane boyutu, amorf yapısı, yerel kaynaklardan kolayca üretilebilmesi ve ucuzluk gibi avantajlara sahip olması nedeniyle polimerik kompozitlerde kullanımı elverişli olmaktadır. Polipropilen, polyester ve epoksi gibi polimerler ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Uçucu kül beton ve çimento gibi yapısal alanlarda, karayolu alt yapılarında, çatı kiremitlerinde, alçı ve ahşap ürünlerinde, polimer kompozitlerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kömür yanma ürünü olan uçucu külün farklı uygulamalarda kullanımı ile termik santrallerin çevresel etkilerinin azaltılması, elektrik üretim maliyetinin düşürülmesi, atık depolama miktarının ve gaz emisyonunun azaltılması, doğal kaynakların korunması sağlanabilmektedir [57-59].

Farklı tabaka sayısında (2, 4 ve 6) ve farklı oranlarda (%0, 5, 10, 15 ve 20) dolgu ilavesi ile oluşturulan CTP kompozit malzemelerde uçucu kül ve çimento gibi dolgu malzemesi kullanımının mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda; dolgu miktarının artması ile eğilme mukavemeti ve sertliğin arttığı fakat darbe mukavemetinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca eğilme mukavemetinin tabaka sayısının artışıyla birlikte arttığı da gözlemlenilmiştir. Numunelerin su emme miktarlarının ise dolgu malzemesinin artışı ile azaldığı görülmektedir. Çimento dolgulu CTP kompozitlerin yüksek darbe dayanımına, uçucu kül dolgulu CTP kompozitlerin ise yüksek eğilme mukavemetine sahip olduğu görülmektedir [60].

#### e) Mikro fibril selüloz:

Mikro fibril selüloz (MFC) farklı bitki kaynaklarından elde edilebilen mikro veya nano boyuta sahip, hafif, biyobozunur ve yapısında yüksek miktarlarda hidroksil grubu içeren bir malzemedir. Mikro fibril selüloz hidroliz kullanılmadan selülozik malzemelerin mekanik olarak parçalanmasıyla elde edilmektedir. Mikro fibril selülozun çap aralığı 20-60 nm iken uzunlukları farklı mikrometre boyutlarında olabilmektedir. MFC yapısında 10-50 adet mikro fibril içerebilmektedir. MFC hem

kristal hemde amorf bölgelerden oluşmaktadır. Malzeme özelliklerini ve davranışını ise kristal bölge belirlemektedir. MFC yüksek spesifik alan, esneklik, çevre dostu, yenilenebilir ve iyi bariyer özelliği gibi avantajlara sahip olmaktadır. MFC kompozit malzemelerde dolgu malzemesi olarak kullanıldığında mikro çatlakları doldurabildiğinden yük altındaki malzemelerde çatlakların büyümesini önleyebilmektedir. Böylelikle dahil edildikleri kompozit malzemelerin çalışma ömürlerini uzatabilmektedirler. Ayrıca mekanik güçlendirici etkisi nedeniyle nanokompozitlerde de dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır [61, 62].

CTP kompozitlerde mikro fibril selüloz'ün dolgu malzemesi olarak kullanımının mekanik özelliklere etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda mikro fibril selüloz ilavesinin çekme, eğilme ve darbe mukavemeti gibi mekanik özellikleri geliştirdiği görülmektedir [62].

#### f) Cam partikül:

Cam partiküllerin (kürecik) en önemli özelliği kullanıldığı ürünün yoğunluğunu düşürmesidir. Ayrıca cam kürecikler dolgu malzemesi olarak kullanıldıklarında viskoziteyi düşürür, reolojik özellikleri değiştirir, büzülmesi azaltır ve mekanik özellikleri artırmaktadır. Cam kürecikler kalınlıkları ince olması nedeniyle kırılındırlar. Bu nedenle ürün çeşitliliği az ve üretim yöntemleri sınırlıdır. Cam küreciklerin kalınlıkları arttırıldığında mekanik özellikleri artar ve daha dirençli yapıya dönüşürler fakat ilave edildikleri polimerlerin yoğunluklarını arttırmaktadırlar. Yoğunluk artışına sebep olmaları kalın duvarlı cam küreciklerin kullanımlarını sınırlamaktadır. Kompozitlerde dolgu maddesi olarak cam kürecikler; katı cam kürecik, boş cam kürecikler ve pul camlar olarak kullanılmaktadırlar. Cam kürecikler termoplastik esaslı reçinelerde dolgu olarak kullanıldıklarında sürtünme katsayısı değerlerini düşürür ve aşınmayı azaltarak tribolojik özellikleri iyileştirmektedir. Genel olarak polimerlerde kullandıklarında yağlayıcı etki yaparak iyi ara yüzey mukavemetinin oluşmasını sağlarlar [52, 63].

CTP kompozit malzemelerde farklı boyutlara (106 ve 125 µm) sahip cam partikülleri kullanılarak dolgu maddesinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda; dolgu maddesi cam partiküllerinin elyaf ile matris arasındaki boşlukları doldurduğu ve tabakalar arası kesme mukavemetini arttırdığı görülmektedir. Ayrıca dolgu maddesi ilavesiyle çekme mukavemetinin arttığı, fakat eğilme mukavemetinin ise azaldığı görülmektedir. Dolgu malzemesi ve boyutu CTP kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etkilemiştir [64].

Fezullahoğlu çalışmasında, CTP kompozit malzemelerde farklı reçine ve farklı çekme katkıları kullanımının abraziv aşınma davranışı üzerine etkisini incelemiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarda; ortoftalik polyester reçineli numunelerin izoftalik polyester reçineli numunelere kıyasla aşınma dirençlerinin daha iyi olduğu ve çekme katkısı olarak kullanılan polistirenin CTP kompozit malzemelerin aşınma dirençlerini geliştirdiğini gözlemlemiştir [65]. Fezullahoğlu diğer çalışmasında ise; CTP kompozit malzemeler içerisinde farklı dolgu malzemeleri (PMMA, cam kürecik ve cam tozu) kullanarak abraziv aşınma davranışı üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmada dolgu maddesi ilavesinin kompozitlerin aşınma davranışlarını iyileştirdiği dolgulu numunelerin dolgusuz numuneye kıyasla daha düşük aşınma oranına sahip olduğu ve en iyi aşınma direncine, PMMA dolgulu CTP kompozit malzemenin sahip olduğu görülmüştür [66].

Fezullahoğlu çalışmasında, farklı dolgu malzemelerinin CTP kompozitlerin adheziv aşınma özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Kompozitlerin içerisinde dolgu malzemesi olarak; polimetilmetakrilat (PMMA), cam kürecik ve cam tozu kimyasal bileşimin %10'luk kısmını oluşturacak şekilde ilave edilmişlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlarda; en düşük sürtünme katsayısı değeri ve aşınma oranı cam kürecik dolgulu CTP kompozitlerde tespit edilmiş ve cam küreciğin tribolojik özelliklere olumlu yansıdığı görülmüştür [67].

İlhan ve Feyzullahoğlu, cam kürecik ilavesinin CTP kompozit malzemelerin sürtünme ve aşınma davranışı üzerine etkisini incelemişlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlarda; cam kürecik dolgu malzemesinin sürtünme katsayısı değerini azalttığını ve aşınma oranını düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Böylelikle cam küreciğin CTP kompozit malzemelerin tribolojik özelliklerini iyileştirebileceği ifade edilmiştir [68].

#### g) Alümina:

Alüminyum oksit yaygın olarak alümina ifadesi ile kullanılmaktadır. Alümina ( $Al_2O_3$ ) mükemmel elektriksel yalıtkanlık özelliğine sahiptir. Fakat seramik malzeme için olabileceğinden daha yüksek termal iletkenliğe ( $30 Wm^{-1}K^{-1}$ ) sahiptir. Alümina'nın yıllık üretimi yaklaşık 45 ton olabilmektedir, bu üretimin büyük kısmı (%90) alüminyum metal üretiminde kullanılmak için gerçekleştirilir. Alümina metal alüminyumun oluşturduğu tek oksittir. Alümina iki şekilde önemli hal almaktadır. Bunlardan ilki alüminyum metalin eritilebilmesi için gerekli olan başlangıç malzemesi olmasıdır. Diğer sebebi ise seramik ürünlerde ve kimyasal işlemlerde hammadde olarak kullanılmasıdır. Erimiş alümina doğal haldeki korindon ile benzer kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir. Alümina üretimi Avusturyalı bilim insanı Bayer tarafından gerçekleştirilmesi nedeniyle alümina üretimi Bayer prosesi olarak da adlandırılmaktadır. Erimiş alümina çok sert olduğu için aşındırıcı malzeme olarak kullanılır. Ayrıca erimiş alümina yüksek erime ( $2000\text{ }^{\circ}C$ ) noktasına sahip olması refrakter olarak kullanılabilmelerini sağlamaktadır. Alümina mükemmel dielektirik ve termal şok özelliklerine sahiptir ve yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca alümina elektronik endüstrisinde rezistanslar ve kapasitörler gibi farklı ekipmanlarda da kullanılmaktadır. Mükemmel mekanik özelliklere sahip olmaları nedeniyle aşındırıcı olarak kullanılır ve kesici takımların üretimlerinde kullanılmaktadır. Alümina mükemmel aşınma direncine sahip olması ve Bayer prosesi ile düşük maliyetli olarak üretilebildikleri için kompozit malzemelerde tribolojik özellikleri geliştirmek için kullanılmaktadır [69, 70].

CTP kompozitlere farklı oranlarda (%0, 5, 10, 15) alümina ( $Al_2O_3$ ) dolgu malzemesi eklenilerek mekanik özelliklerin değişimi incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda alümina dolgu malzemesi kullanımının CTP kompozit malzemelerin mukavemet değerlerini değiştirdiği ve kompozit malzemelerin sertlik ve yoğunluk değerlerinin dolgu malzemesi içeriğinden önemli ölçüde etkilendiği belirtilmektedir. Alümina artışı ile yoğunluk değerlerinin azaldığı, sertliğin ise arttığı ve %21'lik maksimum sertlik artışı sağlandığı görülmektedir. Fakat alümina dolgu ilavesi ile çekme-eğilme-tabakalar arası kesme mukavemeti değerlerinin ise düştüğü gözlemlenmektedir [71].

CTP kompozitlere seramik esaslı (uçucu kül, alümina ve silisyum karbür) dolgu malzemeleri eklenilerek farklı dolgu malzemesi kullanımının mekanik özelliklere etkisi incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda kompozitlerde  $Al_2O_3$  ve SiC dolgu maddelerinin dışında uçucu külün de dolgu malzemesi olarak kullanılabilceği görülmektedir. Dolgu maddesinden bağımsız olarak dolgu içeriğindeki artış ile çekme mukavemeti değerlerinin düştüğü, darbe dayanımı ve tabakalar arası kesme mukavemeti değerlerinin ise iyileştiği görülmektedir. Sertlik, yoğunluk ve eğilme gibi malzeme özelliklerinin dolgu türü ve içeriğinden etkilendiği görülmektedir. Uçucu külün diğer iki dolguya kıyasla daha iyi çekme özelliği sergilediği, diğer yandan alümina ilavesi ise darbe dayanımında %10-15'lik artışa sebep olurken diğer iki dolgu maddesinin kullanımı küçük değişikliklere sebep olduğu görülmektedir [72].

Srinivasan ve diğ. çalışmalarında, cam elyaf takviyeli polyester kompozitlere farklı miktarlarda (%1, 2, 3) nano- $Al_2O_3$  parçacıkları eklenerek dolgu malzemesinin farklı yük ve hız etkisi altındaki CTP kompozitlerin aşınma davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlarda %3'lük nano- $Al_2O_3$  ilavesi diğerlerine göre daha iyi aşınma direnci gösterdiği belirtilmiştir [73].

Patnaik ve diğ. çalışmalarında, alümina dolgu malzemesinin CTP kompozitlerin eroziv aşınma özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlarda; dolgunsuz CTP kompozitlerde yüksek aşınma

oranları görülürken dolgulu haldeki CTP kompozitlerde düşük aşınma oranları görülerek dolgu ilavesinin olumlu etki yaptığı gözlemlenmiştir [74].

#### **h) Titanyum oksit:**

Titanyum dioksit ( $TiO_2$ ) ekonomik, toksik olmayan yarı iletken bir malzemedir.  $TiO_2$ 'nin keşfi 1795 yılında gerçekleşmesine rağmen 1920'li yıllarda ticari ürün haline gelmiştir.  $TiO_2$  polimer özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılan dolgu malzemelerinden biridir.  $TiO_2$  polimer matrisli kompozitlerde ara yüzey etkileşimi artırarak kullanıldığı malzemelerde mekanik özellikleri geliştirmektedir.  $TiO_2$  plastiklerde, kâğıt tekstil ürünlerinde, korozyona dirençli kaplamalarda, anti bakteriyel ajanlarda, UV absorplayicilerde ve gıda ürünlerinde katkı maddesi olarak farklı uygulamada alanlarında kullanılmaktadır [75-77].

CTP kompozit malzemelere titanyum oksit ilavesi ve farklı oranlarda cam elyaf takviyesi yapılarak elyaf oranının ve dolgu malzemesinin CTP malzemelerin mekanik, kimyasal ve termal özelliklerine etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda; elyaf oranının artışı ve partikül ilavesiyle çekme, darbe mukavemeti ve sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir.  $TiO_2$  dolgu malzemesi kompozitlerin kimyasal dirençlerini ve termal kararlılıklarını arttırdığı görülmektedir. SEM görüntülerinde  $TiO_2$  dolgu parçacıklarının matrisle mükemmel şekilde bağlandığı bu yüzden malzeme özelliklerini iyileştirdiği görülmektedir [78].

CTP kompozitlerde farklı elyaf takviye oranının, elyaf uzunluğunun ve dolgu malzemesi olarak titanyumdioksit ( $TiO_2$ ) kullanımının malzeme özelliklerine etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda elyaf takviye oranının artışı malzeme özelliklerini farklı şekillerde etkilerken, elyaf uzunluğu ve dolgu malzemesi kullanımının ise CTP kompozitlerin çekme mukavemetini, darbe dayanımı, sertliğini ve kimyasal direncini arttırdığı görülmektedir [79].

#### **i) Silisyum karbür:**

Silisyum karbür ( $SiC$ ) oksit içermeyen seramik esaslı mühendislik malzemesidir.  $SiC$  birbirlerine kovalent bağlarla bağlanmış bir silikon ve dört karbon atomundan oluşmaktadır. Karbon atomları Si atomlarını  $sp^3$  kombinasyon bağlarıyla sarmaktadır. Silisyum karbür ekonomik oluşunun yanısıra mekanik, optik, kimyasal ve elektronik alanlardaki üstün özellikleri nedeniyle son yıllarda endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.  $SiC$  hafif ve düşük boyutlara sahip olmasından dolayı özellikle nano boyutlu cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.  $SiC$  bakır ile karşılaştırıldığında daha yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir.  $SiC$  başlıca özellikleri; iyi mekanik mukavemet, sertlik, mükemmel oksidasyon direnci, termal kararlılık ve iletkenlik, düşük ısıl genişleme katsayısı, iyi aşınma direnci ve termal şok direncidir [80, 81].

CTP kompozitlere ağırlıkça (%0, 10 ve 20) silisyum karbür ( $SiC$ ) dolgu malzemesi ilavesi yapılarak kompozit malzemelerin darbe mukavemeti, fiziksel özellikleri ve eroziv aşınma davranışları araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda;  $SiC$  parçacıklarının ilavesi ile yoğunluk, sertlik değerlerinin arttığı, darbeye karşı direncin geliştiği ve eroziv aşınma direncinin arttığı görülerek CTP kompozitlerde  $SiC$  dolgu malzemesi kullanımının malzeme özelliklerini geliştirilebileceği görülmektedir [82].

CTP kompozitlere nano boyutta silikon karbit ( $SiC$ ) dolgu ilavesi yapılarak nanokompozit malzemelerin darbe özelliklerinin yanında visko elastik davranışları için dinamik mekanik özellikleri incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda; yoğunluk, sertlik ve darbe dayanımının dolgu miktarının artışı ile arttığı ve %5'lik  $SiC$  dolgu ilavesi ile darbe dayanımının %16,27 oranında arttığı görülmektedir. Ayrıca dinamik mekanik analiz (DMA) sonuçlarına göre; dolgu miktarı artışı

ile depolama modülünün arttığı, fakat camısı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) ve sönümlleme faktörünün ( $\tan \delta$ ) azaldığı tespit edilmektedir [83].

#### **j) Yumurta kabuğu:**

Yumurta kabuğu birçok biyoaktif bileşige sahiptir. Yapısında %94 oranında kalsiyum karbonat, %1 kalsiyum fosfat, %1 magnezyum karbonat ve %4 oranında organik madde (sülfatlanmış polisakkaritler, X kolajen ve diğer proteinler) bulunmaktadır. Spesifik yoğunluk değerleri kalsiyum karbonattan düşüktür. Böylelikle yumurta kabuğunun kullanıldığı kompozit malzemelerde üretim zorlukları giderilebilmektedir. Yumurta kabuğu atık sorunu oluşturduğu için son dönemlerde polimer matrisli kompozitlerde biyo atık maddelerin kullanımıyla çevresel ve ekonomik denge kurulmak istenmektedir. Yumurta kabuğu kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak kullanıldığında yüksek mukavemet ve modül değerlerine sahip ucuz ve hafif malzemeler elde edilebilmektedir. Bu tarz kompozitler otomotiv endüstrisi, kamyonlar, ev ve işyerlerinde kullanılabilir [84-89]. CTP kompozit malzemelere farklı oranlarda (%0, 5 ve 10) yumurta kabuğu tozu eklenilerek kompozit malzemelerin çekme dayanımları, su emilimi ve yanmazlık gibi özellikleri incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda, dolgu ilavesi yapılmış kompozit malzemelerin dolgunsuz kompozitlere kıyasla daha iyi çekme özelliği gösterdiği, dolgu içeriğindeki artış ile yanma oranının azaldığı ve yumurta kabuğunun kullanılmasının kompozit malzemelerin su emilim davranışlarını farklı şekillerde etkilediği, normal suya batırılmış numunelerde dolgulu haldeki numunelerin dolgunsuz olanlara kıyasla daha fazla su emilimine sahip olduğu görülmektedir [89].

#### **k) Kalsiyum karbonat:**

Kalsiyum karbonat doğada yaygın olarak bulunur ve kompozit malzemelerde uygun miktarlarda dolgu maddesi olarak kullanıldığında maliyeti azaltarak mekanik özellikleri (çekme, eğme ve darbe) arttırmaktadır. Kalsiyum karbonat kullanımı geçmişte maliyet azaltma amaçlı kullanılırken günümüzde farklı yönlerden malzeme özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Kalsiyum karbonat suda çözülmez ve %4,8 oranı ile doğada yaygın olarak bulunan beşinci elementtir. Kalsiyum karbonat yüzeyi kaplanmış halde ya da kaplanmamış haliyle karşımıza çıkabilir. Özellikle Polivinil klorür (PVC), polipropilen (PP), elastomerler ve doymamış polyester reçinelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kalsiyum karbonat yüksek kimyasal saflığa sahiptir. Böylelikle polimerlerin yapısını olumsuz etkileyebilecek katalitik etkileri ortadan kaldırır. Ayrıca yüksek beyazlık ve düşük kırılma indisine sahip olmalarından dolayı pahalı olan titanyum dioksit gibi aşındırıcı partiküllerin kullanımlarını azaltır ve yüksek kalitede renkli nihai ürünler elde edilebilmektedir. Düşük oranda aşındırıcı etkiye sahiptir. Bu özelliği polimer üretiminin gerçekleştirildiği ekstrüder gibi makinelerde bulunan vida ve silindirlerin zarar görmesine neden olmaz. Termoplastiklerde  $\text{CaCO}_3$  dolgu olarak kullanılması teknik olarak basittir ve ilave işlemler gerektirmez. Bunun yanında termoplastiklerde  $\text{CaCO}_3$  kullanımı darbe mukavemetine çok etki etmese de sertliği artırır ve büzülme önler. Doymamış polyester reçine ve poliürentan gibi termosetlerde kullanıldığında ise reçine maliyetini azaltır [45, 52, 90-92]. Farklı ağırlık ve partikül boyutlarına sahip  $\text{CaCO}_3$  dolgu maddesi ilavesinin CTP kompozit malzemelerin dayanım ve eroziv aşınma özellikleri üzerine etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda; kompozit malzeme içerisindeki yüksek  $\text{CaCO}_3$  ilavesi ve küçük partikül boyutu ile yüksek dayanım özellikleri ve aşınma dirençlerinin elde edilebileceği tespit edilmektedir [93].

#### **l) Alev geciktiriciler:**

Alev geciktiriciler, tutuşma direncini arttırmak ve alev yayılımını düşürmek için kullanıldıkları yerlerde aleve karşı dayanabilen kimyasal malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Genellikle aleve karşı direnç gösteremeyen malzemelere özelliklerini geliştirmek için dahil edilmektedirler. Malzemelere alev geciktiricilik özelliği kazandırılabilmesi için azot, fosfor, halojenler ve inorganik alev geciktiriciler kullanılmaktadır. Bu çalışmada yaygın kullanıma sahip alüminyum trihidrat ve antimon trioksitin temel özellikleri açıklanmıştır [94]. Alüminyum trihidrat (ATH) beyaz renkli yumuşak özelliğe sahip bir dolgu malzemesidir. Elastomerler, termosetler ve termoplastiklerin çoğu ile kullanılabilir. ATH; çevre dostu, alev geciktirici, yenilenebilir ve leke tutmaz özelliklere sahiptir. ATH doğada doğal haliyle bulunsa da sentetik şekilde dolgu maddesi olarak kullanılır. ATH parçacıkları 60-80 mikron arasında değişen çaplara sahiptir. Bu çap aralığı çoğu polimer için çok büyüktür, ek işlemler ile daha küçük boyutlarda oluşturulduktan sonra dolgu maddesi olarak kullanılabilirler. ATH yüksek sıcaklık değerlerinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucunda yapısındaki suyu serbest bırakarak alev geciktiricilik özelliği kazanır. ATH'ler alev geciktiricilik gibi olumlu özelliklere sahip olsalar da mekanik ve reolojik özellikleri olumsuz etkileyebilmektedirler. Arzu edilmeyen bu olumsuzluklar farklı dolguların kullanılmasıyla, dolgu malzemesinin morfolojisinin değiştirilmesi veya yüzey kaplaması ile düzeltilebilmektedir [45, 52].

Antimon trioksit  $Sb_2O_3$  kimyasal formülüne sahip yüksek sıcaklıklara karşı dirençli olan inorganik bir bileşiktir. Antimon trioksit farklı kısımlardan oluştuğu için farklı renklerde bulunabilmektedir. Kübik kısım renksiz iken ortorombik kısım ise beyaz renktedir. Antimon trioksit genellikle beyaz renkte bulunmaktadır. Ayrıca yüksek verimliliğe sahip ve toksisitesi oldukça düşüktür. Antimon trioksit az miktar su veya hidroksitle, seyreltik hidroklorik asitle ve çoğu organik asit ile çözülebilmektedir. Antimon trioksit plastikler, kauçuklar, kağıtlar ve tekstil ürünleri gibi farklı uygulama alanlarında alev geciktirici madde olarak kullanılmaktadır [94-96].

CTP kompozit malzemelerde Alüminyum trihidrat (ATH), Antimon trioksit ( $Sb_2O_3$ ), deka Bromodifenil eter (DeBDE), Trikresil fosfat (TCP) gibi farklı alev geciktirici özelliğe sahip dolgu maddeleri kullanılarak dolgu maddelerinin kompozit malzeme özelliklerine etkileri araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda; ATH kullanımı ile çekme dayanımı ve sertlik değerlerinin arttığı fakat eğilme ve darbe mukavemeti değerlerinin değişmediği, %60'lık ATH ilavesi ile de alev geciktiricilik özelliğinin sağlanmadığı görülmektedir. TCP dolgu ilavesi ile çekme mukavemeti ve sertlik değerinin arttığı fakat eğilme mukavemetinin azaldığı, darbe dayanımının ise çok değişmemesinin yanında alev geciktiriciliğinde sağlanmadığı görülmektedir.  $Sb_2O_3$  ve DeBDE dolgu maddelerinin birlikte kullanımı ile kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetleri düşerken sertlik ve darbe mukavemetlerinin arttığı bunun yanında alev geciktiriciliğin de sağlandığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda optimum özellikler elde edilememesinden dolayı ATH, DeBDE ve  $Sb_2O_3$  dolgu maddeleri birlikte kullanılarak farklı kimyasal kompozisyonlar denenmiştir. Elde edilen sonuçlarda gerekli mekanik ve alev geciktiricilik özelliklerinin elde edilebildiği, bu nedenle üç dolgu maddesinin birlikte kullanımının optimum çözüm olduğu belirtilmektedir [97].

CTP kompozitlerde farklı oranlarda alüminatrihidrat (ATH) ve biyokömür dolgu maddeleri kullanılarak kompozit malzemelerin eğilme davranışları incelenmektedir. Üç nokta eğme testi sonuçlarına göre; üç farklı ağırlık yüzdesinde (%10, 20 ve 30) ATH dolgulu kompozitlerde %20'lik dolgu ilavesinin eğilme dayanımını iyileştirdiği bu orandan sonraki yüklemelerin ise eğilme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Diğer yandan iki farklı ağırlık yüzdesinde (%10 ve 20) ilave edilen biyokömür dolgulu kompozitlerde ise dolgu miktarının artışıyla birlikte eğilme mukavemetinin arttığı gözlemlenilmektedir. Çalışmanın sonucunda ise CTP kompozitlerde dolgu malzemesi olarak uygun oranlarda ATH kullanımının biyokömüre kıyasla daha etkili olabileceği belirtilmektedir [98].

#### m) Pirinç ve buğday kabuğu:



Pirinç kabuğu, pirinç öğütme işlemi sırasında yan ürün olarak oluşan tarımsal atıktır. Pirinç kabuğu yapısında %35 selüloz, %25 hemiseluloz, %20 lignin, %17 kül ve yaklaşık %3 oranında nem içermektedir. Pirinç kabuğu çevreye bırakıldığında zor ayrışması, hayvanlar için düşük besin değerine sahip olması, sindiriminin zor olması ve yakılarak yok edildiğinde yapısında bulunan silika nedeniyle çevreyi kirletmesinden dolayı araştırmacılar kompozit malzemelerde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırarak atık sorununa çözüm bulmaya çalışmaktadırlar. Yapısındaki lignin ve hemiseluloz oranı odundan daha düşük olması sebebiyle odundan daha yüksek sıcaklıklarda işlenebilmektedir. Bu durum polimerik kompozitlerde kullanımını cazip hale getirmektedir. Ayrıca pirinç kabuğu sera gazı emisyonlarını azaltmakta ve malzeme maliyetlerini de düşürmektedir. Pirinç kabuğu gübreler ve substrat, endüstriyel yakıt olarak, aktif karbonun hazırlanmasında, tuğla yapımında, lastik katkısı, metal ve makine sanayisi gibi farklı endüstriyel uygulamalarda farklı amaçlar için kullanılmaktadır [99, 100].

Buğday kabuğu kolayca bulunabilen, hafif, ucuz ve çevresel avantajlara sahip doğal dolgu malzemesidir. Buğday kabuğu buğdayın yaklaşık olarak %15-20'lik kısmını oluşturan lignoselülozik atık ürünüdür. Kompozit malzemelerde kullanımıyla çevreci malzemeler oluşturulmaktadır. Buğday kabuğu genellikle termoplastik kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır [101, 102].

İki farklı reçine (epoksi, polyester) ve cam elyaf takviyesinden oluşan cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelere farklı doğal dolgular (pirinç kabuğu, buğday kabuğu ve koko elyafı) eklenilerek mekanik özelliklere etkileri incelenmektedir. Cam elyaf takviyeli polyester (CTP) kompozitlerde doğal dolgu malzemesi kullanımının çekme mukavemeti değerlerini düşürdüğü, pirinç ve buğday kabuğu kullanımının ise eğme ve basma dayanımını düşürdüğü fakat koko elyafı kullanımının eğme ve basma dayanımını arttırdığı görülmektedir. Darbe dayanımı ve su emilimi doğal dolgu ilavesi ile artarken, sertlik değerlerinin ise pirinç kabuğu ilavesi ile arttığı fakat buğday kabuğu ve koko elyaf ilavesi ile azaldığı görülmektedir [103].

CTP kompozitlerde farklı oranlarda (%5, 10 ve 15) kırılmış muz elyafı ve pirinç kabuğu ilavesiyle mekanik özelliklerin değişimi incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda; kırılmış muz elyafı ile çekme mukavemetinin arttığı pirinç kabuğu ilavesinde ise %5 ve %10'luk pirinç kabuğu ilavesinde çekme mukavemeti değeri artarken, %15'lik yüklemde azaldığı görülmektedir. Eğilme mukavemeti %5 ve %10'luk pirinç kabuğu ilavelerinde artarken, bu değerlerin üzerinde azaldığı, kırılmış muz elyafı ilavesi ise eğilme mukavemeti değerinin arttığı görülmektedir. Kompozitlerin darbe dayanımlarının ise dolgulu durumda, dolgunsuz olanlara göre daha yüksek değerlerde olduğu gözlemlenilmektedir. Kompozitlerin sertlik değerlerinin pirinç kabuğu miktarının artışı ile arttığı, ayrıca %10'luk kırılmış muz elyaf takviyesine kadar arttığı bu değerden sonra azaldığı tespit edilmektedir [104].

#### **n) Grafit:**

Grafit kristal biçimdeki saf karbon olarak tanımlanmaktadır. Grafit griden siyaha doğru değişik renk tonlarında bulunabilmektedir. Grafit yoğunluğu 2-2,5 g/cm<sup>3</sup>, sürtünme katsayısı 0,1-0,6, termal iletkenliği 110-1900 W/K.m, spesifik yüzey alanı 6,5-20 m<sup>2</sup>/g, partikül boyutu 6-96 µm arasında değişmektedir. Oksijenli ortamda 600-670 °C sıcaklık aralığında yanabilirken normal hava ortamında 3500 °C'ye kadar yanıcı özellik göstermez. Erime sıcaklığı 3927 °C'dir. Kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılan grafit malzemelerin tribolojik, termal, elektriksel, kimyasal ve fiziksel özelliklerini direk olarak etkilemektedir. Grafit yüksek sıcaklığın olmadığı durumlarda mükemmel kuru kayganlaştırıcı özelliğe sahiptir. Bu nedenle kompozit malzemelerde aşınmaya karşı yağlayıcılık özelliği katması için dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca termal iletkenliği arttırmak içinde kompozit yapılarda ilave materyal olarak kullanılmaktadır. Grafit

mükemmel termal ve elektriksel iletkenlik, yüksek ısı ve kimyasal dayanım, alev geciktiricilik ve düşük aşınma oranı gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Grafitin bu özellikleri kristaliniteye, spesifik yüzey alanına, granül büyüklüğüne, doğal ve sentetik oluşuna göre değişmektedir. Grafit elektrik bataryalarında, kuru pillerde, çelik sanayi ve elektrometalürji sanayinde, refrakter kaplamalarda, dökümcülük, boyacılık gibi farklı endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [52, 105-107].

CTP kompozit malzemelere farklı oranlarda (%15 ve 30) grafit ilavesi yapılarak dolgu malzemesinin sürtünme ve adheziv aşınma davranışı üzerine etkisi incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda grafitin katı bir yağlayıcı işlevi gördüğü ve grafit dolgulu numunelerin, dolgunsuz numunelere kıyasla düşük sürtünme katsayısı değerine ve yüksek aşınma direncine sahip olduğu fakat dolgulu kompozitlerde artan dolgu miktarı ile aşınma oranının da arttığı gözlemlenmektedir [108].

#### o) Hematit:

Hematit doğal olarak oluşan mat metalik parlaklığa ve koyu kırmızı renge sahip ferromanyetik özellikte bir mineraldir. Yapısında yaklaşık olarak %70 oranında demir içermektedir. Özgül ağırlığı saflık derecesine bağlı olarak 4,9-5,3 g/cm<sup>3</sup> aralığında değişebilmektedir. Hematit çevre dostu oluşunun yanı sıra ortam koşullarında yarı iletken özellikli (E<sub>g</sub>=2,1 eV) en kararlı demir oksit olması nedeniyle bilimsel ve teknolojik anlamda ilgi gören dolgu malzemesidir. Demir (III) Oksitte (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) α ve γ gibi farklı kristal faz yapıları vardır. α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yapısı hematit olarak adlandırılmaktadır. Hematit uygun maliyeti ve korozyona karşı direncinin yüksek olmasından dolayı foto elektrokimyasal hücrelerde, katalizörlerde, gaz ve nem sensörleri gibi algılama elemanlarında elektrot malzemesi olarak kullanılmaktadır [109, 110].

CTP kompozitlerde farklı oranlarda (%0, 6, 8 ve 10) hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dolgu maddesi kullanılarak oluşturulan hibrid kompozit malzemelerin mekanik davranışları üzerine elyaf oryantasyonunun ve dolgu maddesinin etkisi incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda hematit dolgulu kompozitlerin dolgunsuz kompozitlere kıyasla daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu, elyafların 90°'lik açıyla yönlendirildiği kompozit numunelerin 45°'lik elyaf yönelimine sahip kompozit numunelere göre daha iyi sonuçlar verdiği ve hematit dolgu ilavesinin her iki elyaf yönelimine sahip numunelerde mükemmel mekanik özellikler sergilediği görülmektedir [111].

#### r) Talk:

Talk [Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>] kimyasal formülüne sahip hidratlı magnezyum silikat mineralidir. Talkın teorik olarak kimyasal bileşimi %31,88 MgO, %63,37 SiO<sub>2</sub> ve %4,75 H<sub>2</sub>O'dur. Talk farklı renklerde (beyaz, elma yeşili ve gri) olup, Mohs sertliği 1-1,5 arasında olan, düşük elektriksel iletkenlik, alkali ve ısıya karşı ise yüksek dirence sahip olmaktadır. Talkın ortalama parçacık boyutu 2-20 µm arasında, en/boy oranı ise 10-30 arasında değişmektedir. Talk tozları kimyasal olarak polimerlerde dahil olmak üzere organik ortamla kolaylıkla karışabilen ve dağılılabilen ancak sulu çözeltilerde dağılımı zor olan hidrofobik bir malzemedir. Bu nedenle kâğıt, kauçuk, polimer ve seramik gibi farklı endüstriyel ürünlerde ince toz halinde kullanılmaktadır. Talk özellikle polipropilen (PP) olmak üzere farklı termoplastikler için dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Plastik malzemelere talkın dahil edilmesi ile ısıl bozunma sıcaklığı, boyutsal kararlılık, çizilme direnci ve darbe direnci artırılabilir. Ayrıca çekirdeklenmeden dolayı polimer malzemelerin işlenebilirliğini kolaylaştırmaktadır. Talkın cam elyaf takviyeli polyamid reçine içerisine dahil edilmesiyle otomotiv endüstrisinde kullanılabilecek farklı kompozit parçalar üretilebilmektedir. Kâğıt endüstrisinde ise maliyeti azaltması, yumuşaklık, gözeneklilik ve opaklık sağlama nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [51, 52, 112-114].

CTP kompozitlerde farklı dolgu malzemesi (Kaolen, Kalsit A30, Talk ET5 (Mısır Talkı) ve Mikro Talk AT-200) kullanımının mekanik özelliklere ve maliyete etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda dolgusuz kompozitlerin dolgulu kompozitlere kıyasla daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu görölerek dolgu malzemelerinin mekanik özellikleri düşürdüğü belirtilmekte ve bu tür dolgu malzemelerinin maliyeti düşürme amaçlı kullanılabilirleri ifade edilmektedir. Yapılan çalışmalarda dolgulu kompozitler içerisinde en yüksek çekme mukavemeti değerinin Mikro Talk At-200 ve kalsit dolgulu numunelerde, eğilme dayanımının Talk ET5 dolgulu numunede, izod darbe mukavemeti değerinin talk ET5 dolgulu numunede ve Charpy darbe mukavemeti değerinin ise kalsit dolgulu numunede olduğu gözlemlenmektedir [115].

#### s) Kaolin kili:

Çin kili olarak da bilinen kaolin kili kimyasal olarak çok ince toz halinde bulunan ve kimyasal inertliğe sahip sulu alüminyum silikattır. Kaolin kili beyaz renkli yumuşak bir kil türüdür. Kaolin kili yaklaşık olarak 2 µm partikül büyüklüğüne sahip, yoğunluğu 2,58-2,63 g/cm<sup>3</sup> arasında, mohs sertliği ise 1,5-2 arasında değişmektedir. Kaolin kilinin yapısı %46,5 SiO<sub>2</sub>, %39,5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %14 H<sub>2</sub>O'dan oluşmaktadır. Kaolin kili mekanik ve termal özellikler açısından çok önemli olmaktadır. Kaolin kili renk, yumuşaklık ve küçük partikül boyutu gibi özelliklerinden dolayı farklı uygulamalarda kullanılabilen çok yönlü endüstriyel bir mineraldir. Kaolin kili genellikle seramik, boya, plastik, kâğıt, kauçuk, katalizör ve farmasötik formülasyon vb. uygulamalarda dolgu malzemesi olarak veya hammadde olarak kullanılmaktadır. Kaolinin fiziksel ve kimyasal özellikleri jeolojik kökenine, coğrafi kaynağa ve işleme yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Kaolin kilinin safsızlığı endsütriye uygulamalar için önemli olmaktadır. Yapısında demir oksit, hidroksit ve titanyum içeren malzemelerin bulunması kaolinin kalitesini bozmakta ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliği azaltmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemelere doğru oranlarda ilave edildiklerinde malzeme özelliklerini geliştirebilmektedirler [52, 116-119]. CTP kompozitlere tebeşir tozu ve kaolin kili dolgu ilavesi yapılarak farklı kimyasal maddeler (denizsuyu, demineralize su, sülfürik asit ve sodyum hidroksit) ile etkileşimi sağlanarak dolgu ilavesinin kompozit malzemelerin mekanik, fiziksel ve optik özellikleri üzerine etkisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda; dolgulu kompozitlerin dolgusuz kompozitlere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği ve numunelerin kimyasal maddeler ile etkileşimlerine bağlı olarak temel özelliklerin kötüleştiği görülmektedir. En yüksek korozif etkiye sodyum hidroksit ve sülfürik asitin neden olduğu görülmektedir. Ayrıca deniz suyunun demineralize suya göre daha fazla korozif etkiye sahip olduğu görülmektedir [120].

#### t) Grafen:

Grafen karbon atomlarının sp<sup>2</sup> hibritleşmesi yaparak hekzagonal kristal yapıda dizildiği iki boyutlu yapıdır. Grafen kimyasal olarak inert olan süper hibrofobik özelliğe sahip ince bir malzemedir. Grafen yüksek yüzey alanı, elektron hareketliliği, termal iletkenlik ve yüksek mukavemet değerleriyle öne çıkmaktadır. Grafen yüksek yüzey alanına sahip olması nedeniyle tabaka ve polimer malzemesi arasındaki etkileşimi artırarak iyi ara yüzey özellikleri elde edilebilmektedir. Ayrıca grafen polimer matris içerisine dahil edildiğinde mükemmel elektriksel, kimyasal, optik ve mekanik özellikler elde edilebilmekte ve malzemelerin genel performanslarını iyileştirebilmektedir. Son yıllarda grafen nanokompozitlerde kullanılan önemli dolgu malzemelerindendir. Grafen esaslı nanokompozitler lityum iyon pillerinde, sensörlerde, güneş pillerinde, su arıtma sistemlerinde, süper kapasitörlerde ve doku mühendisliği gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır [121-123]. CTP kompozitlere grafen dolgu ilavesi yapılarak kompozit malzemelerin mekanik ve morfolojik özellikleri incelenmektedir. Yapılan çalışmalarda grafen ilavesi ile mekanik özelliklerin iyileştirilebildiği ve SEM görüntüleri ile grafen dolgu malzemesinin numune içerisinde homojen şekilde dağılabildiği gözlemlenmektedir [124].

#### u) PTFE:

Poli Tetra Floro Etilen (PTFE) yüksek kristaliniteye (%90-95) ve yüksek erime noktasına (327 °C) sahiptir. PTFE'nin çalışma sıcaklığı -260 °C ile +260° C aralığındadır. Florlu yağlar ile alkali metaller dışındaki solventlerin hiçbirinde çözülmez. PTFE düşük sürtünme katsayısı, toksik ve yanıcı olmayan, yüksek termal kararlılık, düşük dielektrik sabiti, kimyasal inertlik, kendinden yağlama özelliği, hafiflik ve yeterli mekanik özelliklere sahiptir. Metal ve pigmentlerle kolayca birleştirilebilmektedir. Fakat PTFE'nin aşınma direncinin düşük olması bazı uygulamalar için kullanımını kısıtlamaktadır. PTFE'nin bu olumsuz özelliğinin üstesinden gelebilmek için bronz, grafit, cam elyaf, alüminyum nano parçacıkları gibi farklı eklentiler ile aşınma dirençleri iyileştirilebilmektedir. PTFE contalar, vana ve pompa parçaları, tank astarları, laboratuvar ekipmanları, filtrasyon membranları, yatak malzemeleri, segmanlar, yapışmaz kaplamalarda ve elektriksel yalıtıklık uygulamalarında kullanılmaktadır [52, 125, 126].

Mahore ve diğ. çalışmalarında PTFE dolgulu CTP kompozit malzemelerin aşınma özellikleri incelenerek PTFE dolgusunun etkisi araştırılmıştır. Deney sonunda elde edilen sonuçlara göre; PTFE dolgusunun sürtünmeyi azalttığı ve aşınma direncini arttırdığı görülerek en iyi sonucu ise %10'luk PTFE dolgu ilavesinin verdiği görülmüştür. Çalışmada PTFE'nin kendinden yağlama özelliğine ve matris ile güçlü bağ oluşturabilme yeteneğine sahip olması nedeniyle aşınma özelliklerine olumlu yansıdığı belirtilmektedir. Ayrıca deney sırasında 5 N'dan 12 N'a kadar farklı yük artışlarıyla birlikte aşınma oranlarının da arttığı görülmüştür [127].

#### 4. Sonuç

Farklı doğal elyaf ve dolgu maddelerinin ilavesinin yapıldığı CTP kompozit malzemeler ile ilgili sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- Tabakalı yapılarda tabaka sırasının, elyaf çeşidinin ve elyaf oryantasyonunun malzeme özelliklerini etkilediği görülmektedir.
- Doğal elyaf ile cam elyafın farklı üretim yöntemleriyle başarılı şekilde biraraya getirilebilecekleri görülmektedir.
- Doğal elyaflar CTP ile birleştirildiğinde sentetik elyaf kullanımı azaltılarak maliyetin düşürülebileceği ve iyi malzeme özelliklerinin elde edilebileceği görülmektedir.
- CTP malzemelerde sisal, jüt, kenaf, pamuk, hindistan cevizi elyafı, muz kabuğu elyafı, kenevir ve ananas yaprağı gibi bitkisel esaslı doğal elyaflar takviye elemanı olarak kullanılmaktadır.
- CTP malzemelerde nanokil, füme silika, ZnO, uçucu kül, çimento, mikro fibril selüloz, yumurta kabuğu tozu, PTFE, hematit, cam kürecik vb. farklı dolgu malzemelerinin kullanılabilirlikleri görülmektedir.
- Dolgu malzemesi kullanımının ve boyutunun malzeme özelliklerini etkileyebileceği görülmektedir. Ayrıca kompozit malzemelerde kimyasal bileşimin önemli olduğu optimum oranlarda uygun dolgu malzemesi kullanımı ile maksimum performansın elde edilebileceği görülmektedir.
- Genellikle dolgu malzemesinin homojen dağılım gösterdiği kompozit malzemelerde uygun ara yüzey özelliklerinin elde edilebildiği görülmektedir.

#### Kaynaklar

- Irving E.P., Soutis C., " Polymer Composites in the Aerospace Industry", 1st Edition, Woodhead Publishing, ISBN 978-0-85709-523-7, UK, (2014).
- Baker A., Dutton S., Kelly D., "Composite Materials for Aircraft Structures", 2nd Edition, AIAA Education Series, ISBN 1-56347-540-5, USA, (2004).

- [3] Engineering Design Handbook-Discontinuous Fiberglass Reinforced Thermoplastics:(DARCOM-P 706-314), *U.S. Army Materiel Command*, (1981).
- [4] Sathishkumar T.P., Naveen J., ‘Glass fiber-reinforced polymer composites-A review’, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2014, 33(13): 1258-1275.
- [5] Faruk O, Sain M, ‘Biofiber Reinforcement in Composite Materials’, 1st Edition, *Woodhead Publishing*, ISBN 978-1-78242-122-1, UK, (2014).
- [6] Rohit K., Dixit S., ‘A Review-Future Aspect of Natural Fiber Reinforced Composite’, *Polymers from Renewable Resources*, 2016, 7(2): 43-60.
- [7] Ahmed S K., Vijayarangan S., Naidu B C A., ‘Elastic properties, notched strength and fracture criterion in untreated woven jute–glass fabric reinforced polyester hybrid composites’, *Materials & Design*, 2007, 28(8): 2287-2294.
- [8] Bindal A., Singh S., Batra K.N., Khanna R., ‘Development of Glass/Jute Fibers Reinforced Polyester Composite’, *Indian Journal of Materials Science*, DOI: 10.1155/2013/675264.
- [9] Beg H.D.M., Pickering L K., ‘Study on the Mechanical Properties of Jute/Glass Fiber-reinforced Unsaturated Polyester Hybrid Composites: Effect of Surface Modification by Ultraviolet Radiation’, *Journal of Reinforced Plastics AND Composites*, 2006, 25(6): 575-588.
- [10] Ahmed S.K., Vijayarangan S., Rajput C., ‘Mechanical Behavior of Isothalic Polyester-based Untreated Woven Jute and Glass Fabric Hybrid Composites’, *Journal of Reinforced Plastics AND Composites*, 2006, 25(15): 1549-1569.
- [11] Sanjay M.R., Arpitha G.R., Yogesha B., ‘Investigation on Mechanical Property Evaluation of Jute-Glass Fiber Reinforced Polyester’, *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2014, 11(4): 50-57.
- [12] Li Y., Mai W.Y., Ye L., ‘Sisal fibre and its composites: a review of recent developments’, *Composites Science and Technology*, 2000, 60, 2037-2055.
- [13] Ramesh M., Palanikumar K., Reddy H.K., ‘Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites’, *Composites: Part B*, 2013, 48, 1-9.
- [14] Akil M.H., Omar F.M., Mazuki A.A.A., Safiee S., Ishak M.A.Z., Bakar A., ‘Kenaf fiber reinforced composites: A review’, *Materials and Design*, 2017, 32, 4107-4121.
- [15] Ramesh P., Prasad D.B., Narayana KL., ‘Characterization of kenaf fiber and its composites: A review’, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2018, 37(11): 731-737.
- [16] Ishak M.R., Sahari J., Sanyang M.L., Sapuan S.M., ‘Kenaf Fibers and Composites’, 1st Edition, *CRC Press*, ISBN-13: 978-1-4987-5342-5, USA, (2018).
- [17] Ghani A.A.M., Salleh Z., Hye M.K., Berhan N.M., Taib D.M.Y., Bakri I A M., ‘Mechanical Properties of Kenaf/Fiberglass Polyester Hybrid Composite’, *Procedia Engineering*, 2012, 41, 1654-1659.
- [18] Yuhazri M.Y., Amirhafizan M.H., Abdullah A., Sihombing H., Nirmal U., Saarah A.B., Fadzol O. M., ‘The Effect of Lamina Intraply Hybrid Composites on the Tensile Properties of Various Weave Designs’, *Materials Science and Engineering*, DOI: 10.1088/1757-899X/160/1/012022.
- [19] Zhafer F.S., Rozyanty R.A., Shahnaz S.B.S., Musa L., Zuliahani A., ‘Kenaf-glass fiber reinforced unsaturated polyester hybrid composites: Tensile properties’, *AIP Conference Proceedings*, DOI:10.1063/1.4958770.
- [20] Naidu P.N.V., Reddy R.G., Kumar A.M., ‘Thermal conductivity of Sisal/Glass Fibre Reinforced Hybrid Composites’, *International Journal of Fiber and Textile Research*, 2011, 1(1): 28-30.
- [21] John K., Naidu V.S., ‘Sisal Fiber/Glass Fiber Hybrid Composites: The Impact and Compressive Properties’, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2004, 23(12): 1253-1258.
- [22] John K., Naidu V.S., ‘Effect of Fiber Content and Fiber Treatment on Flexural Properties of Sisal Fiber/Glass Fiber Hybrid Composites’, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2004, 23(15): 1601-1605.

- [23] John K., Naidu V.S., ‘ Tensile Properties of Unsaturated Polyester-Based Sisal Fiber–Glass Fiber Hybrid Composites’’, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2004, 23(17): 1815-1819.
- [24] Sanjay R. M., Arpitha R. G., Vasundhara G. M., Yogesha B., ‘ Study on Mechanical Characteristics of Unidirectional Sisal/Glass Fiber Reinforced Polyester Hybrid Composites’’, *International Journal of Science and Research*, 2014, 3, 585-588.
- [25] Wakelyn J.P., Bertoniere R.N., French D.A., Thibodeaux P.D., ‘ Cotton Fiber Chemistry and Technology’’, 1st Edition, Wakelyv J.P., *CRC Press*, ISBN-13: 978-1-4200-4587-1, USA, (2006).
- [26] Kozłowski M.R., ‘ Handbook of natural fibres’’, 1st Edition, *Woodhead Publishing Limited*, ISBN 978-1-84569-697-9, UK, (2012).
- [27] Portella H E., Romanzini D., Angrizani C C., Amico C S., Zattera J A., ‘ Influence of Stacking Sequence on the Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Cotton/Glass Fiber Reinforced Polyester Composites’’, *Materials Research*, 2016, 19(3): 542-547.
- [28] Bakri B., Chandrabakty S., Soe R., ‘ Mechanical Properties of Coir Rope-Glass Fibers Reinforced Polymer Hybrid Composites’’, *International Journal on Smart Material and Mechatronics*, 2015, 2(2): 132-135.
- [29] Hamouda T., Hassanin H.A., Kılıç A., Candan Z., Bodur S.M., ‘ Hybrid Composites From Coir Fibers Reinforced With Woven Glass Fabrics: Physical and Mechanical Evaluation’’, *Polymer Composites*, DOI: 10.1002.
- [30] Bhatnagar R., Gupta G., Yadav S., ‘ A Review on Composition and Properties of Banana Fibers’’, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2015, 6(5):49-52.
- [31] Jagadeesh D., Venkatachala R., Nallakumarasamy G., ‘ Characterisation of Banana Fiber- A Review’’, *J. Environ. Nanotechnol.*, 2015, 4(2):23-26.
- [32] Dagwa M.I., Ohaeri O.J., ‘ Property Evaluation of Hybrid OPEBF/Banana/Glass Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Composites’’, *American Journal of Materials Science and Engineering*, 2014, 2(4): 45-53.
- [33] Agarwal R., Saxena S.N., Sharma B.K., Thomas S., Pothan A.L., ‘ Thermal conduction and diffusion through glass-banana fiber polyester composites’’, *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, 2003, 41, 448-452.
- [34] Pothan A.L., George N.C., John J.M., Thomas S., ‘ Dynamic Mechanical and Dielectric Behavior of Banana–Glass Hybrid Fiber Reinforced Polyester Composites’’, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2010, 29(8): 1131-1145.
- [35] Sanjay R.M., Arpitha R.G., Naik L.L., Gopalakrishna K., Yogesha B., ‘ Studies on Mechanical Properties of Banana/E-Glass Fabrics Reinforced Polyester Hybrid Composites’’, *Journal of Materials and Environmental Science*, 2016, 7(9): 3179-3192.
- [36] Shahzad A., ‘ Hemp fiber and its composites – a review’’, *Journal of Composite Materials*, 2011, 46(8): 973-986.
- [37] Sanjay R.M., Arpitha R.G., Naik L.L., Gopalakrishna K., Yogesha B., ‘ Experimental Investigation on Mechanical Properties of Hemp/E-Glass Fabric Reinforced Polyester Hybrid Composites’’, *Journal of Materials and Engineering Structures*, 2016, 3(3): 117-128.
- [38] Nam S., Netravali N.A., ‘ Physical Properties of Ramie Fibers for Environment-friendly Green Composites’’, *Fibers and Polymers*, 2006, 7(4): 372-379.
- [39] Sen T., Reddy J. N. H., ‘ Various Industrial Applications of Hemp, Kinaf, Flax and Ramie Natural Fibres’’, *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 2011, 2(3): 192-198.
- [40] Romanzini D., Junior O. L. H., Amico C. S., Zattera J. A., ‘ Preparation and Characterization of Ramie-Glass Fiber Reinforced Polymer Matrix Hybrid Composites’’, *Materials Research*, 2012, 15(3): 415-420.
- [41] Chowdary S. M., Kumar N., ‘ Effect of Nanoclay on the Mechanical properties of Polyester and S-Glass Fiber (Al)’’, *International Journal of Advanced Science and Technology*, 2015, 74: 35-42.

- [42] Tolinski M., ‘‘ Additives for Polyolefins’’, 1st Edition, *Elsevier*, ISBN: 978-0-81-552051-1, USA, (2009).
- [43] Kutz M., ‘‘ APPLIED PLASTICS ENGINEERING HANDBOOK: Processing, Materials, and Application’’, 2nd Edition, *Elsevier*, ISBN: 978-0-323-39040-8, USA, (2017).
- [44] Advani G. S., Hsiao T. K., ‘‘ Manufacturing techniques for polymer matrix composites (PMCs)’’, 1st Edition, *Woodhead Publishing*, ISBN 978-0-85709-067-6, USA, (2012).
- [45] Rothon N. R., ‘‘ Particulate Fillers for Polymers’’, 12th edition, *Rapra Technology*, ISBN: 1-85957-310-X, (2001).
- [46] Chowdary S. M., Kumar N., ‘‘ Effect of Nanoclay on the Mechanical properties of Polyester and S-Glass Fiber (Al)’’, *International Journal of Advanced Science and Technology*, 2015, 74: 35-42.
- [47] James M., Manoj G.K., Mathew C., George E.K., Mathew R., ‘‘ Modification of Fiber-Reinforced Plastic by Nanofillers’’, *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2013, 3(4): 234-240.
- [48] Hasan F. M., ‘‘Fracture Behaviour of Carbon Fiber Reinforced Self Compacting Concrete with and without Silica Fume’’, *M.Sc. Thesis*, University of Gaziantep Graduate School of Natural and Applied Sciences, (2015).
- [49] Sequeira D., Mascarenhas J., Picardo D., Dias R., Sutari O., ‘‘ Mechanical Behaviour of Fumed Silica/Glass Reinforced Polyester Nanocomposites’’, *American Journal of Materials Science*, 2015, 5(3C): 92-95.
- [50] Panjehpour M., Ali A.A.A., Demirboga R., ‘‘ A Review for Characterization of Silica Fume and Its Effects on Concrete Properties’’, *International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology*, 2011, 2(2): 1-7.
- [51] Balasubramanian M., ‘‘Composite Materials and Processing’’, 1st edition, *CRC Press*, ISBN 9781138076877, USA, (2013).
- [52] Wypych G., ‘‘Handbook of fillers’’, 2nd edition, *ChemTec Publishing*, ISBN 1-895198-19-4, Canada, (1999).
- [53] Ersoy S., Taşdemir M., ‘‘ Zinc oxide (ZnO), magnesium hydroxide [Mg (OH)<sub>2</sub>] and calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) filled HDPE polymer composites: Mechanical, thermal and morphological properties’’, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2012, 24(4): 93-104.
- [54] Naga R B., Ramji K., Prasad V.S.R.K., ‘‘ Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polyester ZnO NanoComposites’’, *4th International Conference on Materials Processing and Characterization*, India, 2817-2825, 2015.
- [55] Gull N., Khan M.S., Munawar A.M., Shafiq M., Anjum F., Butt Z.T., Jamil T., ‘‘ Synthesis and characterization of zinc oxide (ZnO) filled glass fiber reinforced polyester composites’’, *Materials and Design*, 2015, 67, 313-317.
- [56] Singh K. A., SIDDHARTHA V., DEEPAK., ‘‘ Assessment of mechanical and three-body abrasive wear peculiarity of TiO<sub>2</sub>- and ZnO-filled bi-directional E glass fibre-based polyester composites’’, *Bulletin of Materials Science*, 2016, 39(4): 971-988.
- [57] Thakur K.V., Thakur K.M., Gupta K.R., ‘‘ Hybrid polymer Composite Materials Structure and Chemistry’’, 1st Edition, *Woodhead Publishing Series in Composite Science and Engineering*, ISBN: 978-0-08-100791-4, India, (2017).
- [58] Güler G., Güler E., İpekoğlu Ü., Mordoğan H., ‘‘ Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları’’, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, IMCET2Q05, İzmir, 419-423, 2005.
- [59] Akın E., ‘‘ Mermer tozları ve Uçucu Kül ile Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi’’, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- [60] [http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/27165/9/09\\_chapter4.pdf](http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/27165/9/09_chapter4.pdf) (Ziyaret tarihi : 20.08.2018).

- [61] Lavoine N., Desloges I., Dufresne A., Bras J., "Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review", *Carbohydrate Polymers*, 2012, 90, 735-764.
- [62] Vu M.C., Nguyen D.D., Sinh H.L., Choi J.H., Pham D.T., "Micro-Fibril Cellulose as a Filler for Glass Fiber Reinforced Unsaturated Polyester Composites: Fabrication and Mechanical Characteristics", *Macromolecular Research*, 2017, DOI 10.1007/s13233-018-6006-3.
- [63] Shibata K., Yamaguchi T., Hokkirigawa K., "Tribological behavior of polyamide 66/rice bran ceramics and polyamide 66/glass bead composites", *Wear*, 2014, 317, 1-7.
- [64] Kumar A.K., Mateen A.M., Rajneesh S.N., "A Study on Effect of Filler on Mechanical Properties of GFRP Composites", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2015, 4(11): 10669-10674.
- [65] Feyzullahoğlu E., "The Investigation of Effects of Polyester Resins and Tensile Additives on Abrasive Wear of Glass Fiber Reinforced Polyester Composites", *International Science and Technology Conference (ISTEC-2018)*, Paris, 603-608, (2018).
- [66] Feyzullahoğlu E., "Abrasive wear properties of glass fiber reinforced polyester composites", *International Conference on Technology Engineering and Science (ICONTESS)*, Antalya, 679-683, (2017).
- [67] Feyzullahoğlu E., "Effect of Different Fillers on Adhesive Wear Properties of Glass Fiber Reinforced Polyester Composites", *Tribology in Industry*, 2017, 39(4): 482-486.
- [68] İlhan R., Feyzullahoğlu E., "The Wear of Glass Fiber Reinforced Polyester Composite Materials at Different Loads and Speeds", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2018, 5(1): 259-266.
- [69] Park S. J., Seo M. K., "Interface Science and Composites", 1st Edition, *Academic Press*, ISBN: 978-0-12-375049-5, USA, (2011).
- [70] Davis K., "Material Review: Alumina ( $Al_2O_3$ )", *School of Doctoral Studies (European Union) Journal*, 2010, 2, 109-114.
- [71] Sahu H., Rout A., Kumar A., "Development and Characterization of Particulate Filled Glass Fiber Reinforced Hybrid Composites", *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2012, 2(3): 89-93.
- [72] Patnaik A., Satapathy A., Mahapatra S.S., "A Comparative Study on Different Ceramic Fillers Affecting Mechanical Properties of Glass-Polyester Composites", *Journal of Reinforced Plastics*, 2008, 28(11): 1305-1318.
- [73] Srinivasan, V., Mohammad, M., Karthikeyan, R., "Characteristics of  $Al_2O_3$  Nano-Particled Filled GFRP Composites Using Wear Maps", *Journal of Reinforced and Composites*, 2010, 29, 3006-3015.
- [74] Patnaik A., Satapathy A., Mahapatra S., Dash R. R., "Parametric Optimization Erosion Wear of Polyester-GF-Alumina Hybrid Composites using the Taguchi Method", *Journal of Reinforced Plastics*, 2008, 27(10): 1039-1058.
- [75] Awang M., Mohd W.R., "Comparative studies of Titanium Dioxide and Zinc Oxide as a Potential filler in Polypropylene reinforced rice husk composite", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2018, 342, doi:10.1088/1757-899X/342/1/012046.
- [76] Khataee A., Mansoori A.G., "Nanostructured Titanium Dioxide Materials Properties, Preparation and Applications", 1st Edition, *World Scientific Publishing*, ISBN-13 978-981-4374-72-9, USA, (2012).
- [77] Rahimi N., Pax A.R., Gray M.E., "Review of functional titanium oxides. I:  $TiO_2$  and its modifications", *Progress in Solid State Chemistry*, 2016, 44, 86-105.
- [78] Srinivasa S.M., Manonmani K., "Preparation and Characterization of Glass Fiber Reinforced Composite with  $TiO_2$  Particulate", *Sen'i Gakkaishi*, 2013, 69(8): 42-46.
- [79] Moorthy S.S., Manonmani K., "Fabrication and Characterization of  $TiO_2$  Particulate Filled Glass fiber Reinforced Polymer Composite", *Materials Physics and Mechanics*, 2013, 18, 28-34.



- [80] Sohor M.H., Mustapha M., Kurnia C.J., "silicon carbide-from synthesis to application: a review", *MATEC Web of Conferences*, DOI: 10.1051/mateconf/201713104003.
- [81] Izhevskiy A.V., Genova A.L., Bressiani C.J., Bressiani A.H.A., "Review article: Silicon Carbide. Structure, Properties and Processing", *Ceramica*, 2000, DOI: 10.1590/S0366-69132000000100002.
- [82] Kaundal R., Patnaik A., Satapathy A., "Effect of SiC Particulate on Short Glass Fiber Reinforced Polyester Composite in Erosive Wear Environment", *Walailak J Sci & Tech*, 2012, 9(1): 49-64.
- [83] Kumar V., Lakshminarayanan N., Dubey P.C., "A comprehensive study on impact and dynamic mechanical properties of silicon carbide (SiC) filled glass fabric reinforced polyester (G-P) nanocomposites", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 2015, 9, 299-305.
- [84] Nayak Y.S., Shenoy S., Sharma P., Aman I., Dey S., "Use of Egg Shell Particulate as Fillers in E-Glass/Epoxy Composites", *Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering and Industrial Automation*, Dubai, 21-25, (2015).
- [85] Zaman T., Mostari S.M., Mahmood A.A., Rahman S.M., "Evolution and characterization of eggshell as a potential candidate of raw material", *Cerâmica*, 2018, 64, 236-241.
- [86] Senthil J., Madan R.P., "Preparation and Characterization of Reinforced Egg Shell Polymer Composites", *International Journal on Mechanical Engineering and Robotics*, 2015, 3(3): 7-17.
- [87] Mičicová Z., Pajtášová M., Domčeková S., Ondrušová D., Raník L., Liptáková T., "Inorganic materials and their use in polymeric materials", *Procedia Engineering*, 2016, 136, 239-244.
- [88] Hassan B.S., Aigbodion S.V., Patrick N.S., "Development of Polyester/Eggshell Particulate Composites", *Tribology in Industry*, 2012, 34(4): 217-225.
- [89] Hiremath P., Shettar M., Gowrishankar C.M., "Investigation on Mechanical and Physical Properties of GFRP-Egg Shell Powder Hybrid Composites", *Indian Journal of Science and Technology*, DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i32/97024.
- [90] Zhao H., Guo Y., "Composites", *Bachelor's thesis*, Tampere University of Applied Sciences, Textile and Chemical Engineering, Finland, (2014).
- [91] Tegethoff W., Rohleder J., Kroker E., "Calcium Carbonate", 1st Edition, *Birkhäuser Basel*, ISBN:978-3-7643-6425-0, Switzerland, (2001).
- [92] Hongzhen C., Keyan Y., Weiming Y., "Effects of calcium carbonate on preparation and mechanical properties of wood/plastic composite", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2017, 10(1):184-190.
- [93] Yilmaz G. M., Unal H., Mimaroglu A., "Study of the strength and erosive behavior of CaCO<sub>3</sub>/glass fiber reinforced polyester composite", *eXPRESS Polymer Letters*, 2008, 2(12): 890-895.
- [94] Dheyaa M.B., Jassim H.W., Hameed A.N., "Evaluation of the Epoxy/Antimony Trioxide Nanocomposites as Flame Retardant", *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 2018, doi:10.1088/1742-6596/1003/1/012078.
- [95] Albdiry T.M., Almosawi I.A., Yousif F.B., "The Synergistic Effect of Hybrid Flame Retardant on Pyrolysis Behaviour of Hybrid Composite Materials", *Journal of Engineering Science and Technology*, 2012, 7(3): 351-359.
- [96] Albdiry T.M., Alshafaie H.S., "Improvement of Temperature Resistance of Al-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>P Composite by Coating with Antimony Trioxide Film", *Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences*, 2008, 1(2): 172-179.
- [97] Banu D.R., Vasanthakumari R., "Optimization studies in flame retardant fibre reinforced plastic composites for roofing application", *Int. J. Chem. Res.*, 2012, 2(1): 26-33.
- [98] Montazerian H., Crawford B., Derbowka D., Milani S.A., "Mechanical Behavior of Fiberglass/Unsaturated Polyester Composites, with Biochar Filler for Carbon Sequestration,

- Under Three-Point Bending”, *Composites Research Network-Okanagan Node*, DOI: CRNO-23032017-1.
- [99] Khalf I.A., Ward A.A., “ Use of rice husks as potential filler in styrene butadiene rubber/linear low density polyethylene blends in the presence of maleic anhydride”, *Materials and Design*, 2010, 31, 2414-2421.
- [100] Kenechi O.N., Linus C., Kayode A., “ Utilization of Rice Husk as Reinforcement in Plastic Composites Fabrication- A Review”, *American Journal of Materials Synthesis and Processing*, 2016, 1(3): 32-36.
- [101] Bledzki K.A., Mamun A.A., Volk J., “ Physical, chemical and surface properties of wheat husk, rye husk and soft wood and their polypropylene composites”, *Composites: Part A*, 2010, 41, 480-488.
- [102] Upadhyaya P., Garg M., Mathur S., Kumar V., Nema K.A., “ Polypropylene/Wood Flour and Wheat Husk Hybrid Composites”, *Applied Polymer Composites*, 2014, 2(3): 141-150.
- [103] Dhawan V., Singh S., Singh I., “ Effect of Natural Fillers on Mechanical Properties of GFRP Composites”, *Hindawi Publishing Corporation Journal of Composites*, DOI: 10.1155/2013/792620.
- [104] Gupta G., Gupta A., Dhanola A., Raturi A., “ Mechanical behavior of glass fiber polyester hybrid composite filled with natural fillers”, *Materials Science and Engineering*, DOI: 10.1088/1757-899X/149/1/012091.
- [105] Çuhadaroğlu D.A., Kara E., “ Grafit: Bir Genel Değerlendirme”, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 2018, 8(1): 15-33.
- [106] Bhagat S., Verma K.P., “ Effect of Graphite Filler on Mechanical Behavior of Epoxy Composites”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2013, 3(2): 427-430.
- [107] Király A., Ronkay F., “ Effect of Graphite and Carbon Black Fillers on the Processability, Electrical Conductivity and Mechanical Properties of Polypropylene based Bipolar Plates”, *Polymers & Polymer Composites*, 2013, 21(2): 93-100.
- [108] Rai P., Tiwari S., Yadav G., “ Friction and Sliding Wear behaviour of Graphite Filled E-Glass Fiber Reinforced Polyester Composites”, *International Journal for Scientific Research & Development*, 2017, 5(5): 1077-1080.
- [109] Eric B., Joel F., Grace O., “ Oil Well Cement Additives: A Review of the Common Types”, *Oil and Gas Research*, 2016, 2(1): 1-7.
- [110] Ahmad W.R., Mamat H.M., Zoolfakar S.A., Khusaimi Z., Rusop M., “ Review on Hematite  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Focusing on Nanostructures, Synthesis Methods and Applications”, *IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)*, Malaysia, 2016, doi.org/10.1109/SCORED.2016.7810090.
- [111] Chavan R.V., Dinesh R.K., Veeresh K., Algur V., Jagadish P.S., Mohan M.C., “ Evaluating the Influence of Fiber Orientation and Filler Content on Tensile, Hardness, and Impact Strength of Hybrid Laminated Composites”, *International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering*, 2015, 3(1): 25-31.
- [112] Dulebová L., Moravskiy V., “ Evaluation of Properties Injected Polymer Composite Filled with Talc Mineral Filler”, *Transfer inovácií*, 2015, 32, 19-23.
- [113] Nasrin R., Bhuiyan H.A., Gafur A.M., “ Influence of Talc Filler Content on the Mechanical and DC Electrical Behavior of Compression Molded Isotactic Polypropylene Composites”, *International Journal of Composite Materials*, 2015, 5(6): 155-161.
- [114] Marzbani P., Resalati H., Ghasemian A., Shakeri A., “ Talc, a multi-purpose filler: A review of talc’s features and improvement methods of its efficiency”, *Annals of Biological Research*, 2013, 4(6): 159-162.
- [115] <http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/05/Bitirme-Tezi.pdf> (Ziyaret tarihi: 20.08.2018)

- [116] Karabeyoğlu S.S., Öntürk N., “ An investigation on physical properties of polyethylene composite with bentonite, kaolin and calcium carbonate additives”, *Usak University Journal of Material Sciences*, 2014, 1, 55-59.
- [117] Hancıoğlu Ç., “ Kaolin ve Bentonit Türü Killerde Bulunan Silikaların Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [118] Valenzuela S.M., Matos C.M., Shah A.L., Carvalho S.F., Sayeg J.I., Valenzuela-Dia R.F., “ Engineering Properties of Kaolinitic Clay with Potencial Use in Drugs and Cosmetics”, *International Journal of Modern Engineering Research*, 2013, 3(1): 163-165.
- [119] Ariffin S.K., Rahman A.H., Husssin H., Abdul Hadi A.K., “ The genesis and characteristics of primary kaolinitic clay occurrence at Bukit Lampas, Simpang Pulai, Ipoh”, *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 2008, 54, 9-16.
- [120] Velde V.K., Kiekens P., “ Chemical resistance of E-glass reinforced polyester composites made by pultrusion”, *Transactions on Engineering Sciences*, 1998, 19, 575-583.
- [121] Mittal G., Dhand V., Rhee Y.K., Park J.S., Lee R.W., “ A review on carbon nanotubes and graphene as fillers in reinforced polymer nanocomposites”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2015, 21, 11-25.
- [122] Choi W., Lee J., “ Graphene Synthesis and Applications”, 1 st Edition, *CRC Press*, ISBN-13: 978-1-4398-6188-2, USA, 2012.
- [123] Mohan B.V., Lau T.K., Hui D., Bhattacharyya D., “ Graphene-based materials and their composites: A review on production, applications and product limitations”, *Composites Part B*, 2018, 142, 200-220.
- [124] Baby M., Hiremath M., Swamy S., Manjunatha L.H., “ Study Of Mechanical And Morphological Properties On Glass Fiber Reinforcement Polyester Composite With Graphene”, *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 2017, 3(5): 82-87.
- [125] Venkateswarlu G., Sharada R., Bhagvanth R.M., “ Polytetrafluoroethylene (PTFE) based composites”, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2014, 6(10): 508-517.
- [126] Parab V.P., Firke L.V., “ Friction and Wear Performance of PTFE and its Composites: A review”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2016, 5(9): 327-329.
- [127] Mahore K., Chauganekar S., Tiwari S., Yadav G., Modi M., “ Abrasive Wear Behaviour of PTFE Filled E-Glass Fiber Reinforced Polyester Composites”, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2017, 4(8): 1036-1039.