

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM TAKVİYELİ POLYESTERİN ASFALT
İÇİNDE GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Sibel ÖZKARA

Temmuz, 2009

İZMİR

CAM TAKVİYELİ POLYESTERİN ASFALT İÇİNDE GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon-İmalat Anabilim Dalı

Sibel ÖZKARA

Temmuz, 2009

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SİBEL ÖZKARA, tarafından **YRD.DOÇ.DR.ÇİÇEK ÖZES** yönetiminde hazırlanan “**CAM TAKVİYELİ POLYESTERİN ASFALT İÇİNDE GERİ DÖNÜŞÜMÜ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr.Çiçek ÖZES

Yönetici

Prof.Dr. Deniz ÜNSALAN

Jüri Üyesi

Doç.Dr. Evren TOYGAR

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Çiçek ÖZES'e, bu tezin adını veren Doç.Dr. Gökdeniz NEŞER'e, kaynak yardımı ve bilgilerini benimle paylaştığı için Prof.Dr. Deniz ÜNSALAN olmak üzere, hocalarıma her türlü yardımı sağladıkları ve bana kılavuzluk ettikleri için teşekkür ve şükranlarımı,

Aileme özellikle, bana sonuna kadar mücadele etmeyi öğretten, yüksek lisans yapmamda bana cesaret veren babama, bizim için her türlü fedakârlığı yapan annelerin en sevgilisine teşekkür ve şükranlarımı,

Tez deney malzemesi, CTP tozu sağlamakta bize yardımcı olan Yücel Kompozit Malz. Paz. ve Tic. Ltd. Şti.'ye,

Tezimde deneysel çalışmalarda emeği geçen, tez konumuza ve bize yardımlarını esirgemeyen, bizi en iyi şekilde karşılayıp misafir eden başta AR-GE Müdiresi Kimya Müh. Şadan AKTAN olmak üzere, AR-GE Kimya mühendisi Işıl TEZEL'e, BTM POLPAN Bitümlü Tecrit Maddeleri San. ve Tic. A.Ş. ailesine en içten teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Sibel ÖZKARA

CAM TAKVİYELİ POLYESTERİN ASFALT İÇİNDE GERİ DÖNÜŞÜMÜ

ÖZ

Kompozitlerdeki başlıca sorun ekonomik ömrünü tamamlamış ürünlerin ne olacağı ve nasıl bertaraf edileceğidir. Günümüzde termoset plastikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Termosetler bileşeninde yer alan çapraz bağlantılı reçine matrisler sebebiyle termoplastikler gibi tersinir reaksiyonla geri dönüştürülemezler. Gelecekteki en büyük sorun Cam Takviyeli Plastik (CTP) yaşam sonu atıklarıyla başa çıkmaktır. Bu atıkları bertaraf etme yolları da malzeme, malzeme/enerji, enerji veya depolama yapmaktır. Şu an dünya genelinde kullanılan metot depolama yaparak bu atıkları biriktirmektir, ki bu da çoğu Avrupa Birliği üyesi ülkelerinde yasaktır. Bu yasaklar ve bertarafın fazla yer kaplaması sorunu yüzünden bazı ülkelerde, mekanik, kimyasal, termal gibi diğer yöntemler kullanılır.

CTP geri dönüşümü ile elde edilen ürünlerin düşük maliyetle, yüksek kaliteli ürünler ile rekabet etmesi gerekir. CTP geri dönüşümü için pazar ve tesisler kurulması, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (Product Lifecycle Management, PLM) ile ürün meydana gelene kadar her üretim aşaması not edilmesi, tüm dünyada devletlerin CTP geri dönüşümünü özendirmeye yönelik teşvikler sağlanması ve bu atıkların çevreyi kirletmesinin önlenmesi gerekmektedir. Eğer CTP tedarikçileri CTP geri dönüşümünü ya da yaşam sonu ürünlerinin yeniden kullanımını temin etmenin yolunu bulmazlarsa pazar paylarını kaybedebileceklerdir.

Bu çalışma, CTP tozlarının çatı kaplaması bitüm esaslı içinde kullanılarak gerçekleştirilen geri dönüşüm deney çalışmalarını anlatır. Deney sonuçlarından CTP tozlarının bitüm malzeme özelliklerine olumlu yönde katkı yaptığı görülmüştür. Gelecekte CTP malzemesi atıklarının kullanılmasıyla çevre kirliliğinin azaltılması, bitüme olumlu özellikler katması bir avantaj olacaktır.

Anahtar sözcükler: Geri Dönüşüm, Plastik, Cam Takviyeli Polyester (CTP), Asfalt, Bitüm

THE RECYCLING OF GLASS REINFORCED POLYESTER IN ASPHALT

ABSTRACT

The main problem in composites is what happens to the products which exhausted their life cycles how they will be disposed. Thermoset plastics are commonly used nowadays. Thermo-sets cannot be recycled through reversible reaction like thermoplastics due to cross-linked resin matrix included in their components. The biggest problem in the future will be to cope with the wastes of FRP end-of-life products. The way of disposing these wastes is to use them as material, material/energy, energy or to store them. Presently, the method used world-wide is to accumulate these waste by storing, which is prohibited in most member countries of the European Union. Because of these prohibitions and of this disposing`s occupying too much space, some other methods like mechanical, chemical and thermal are used in some countries.

It is necessary that the products obtained through FRP recycling with low cost compete with high quality products. It is necessary that a market and facilities be established for recycling FRP, through Product Lifecycle Management (PLM) each phase of production should be recorded until the product is produced, incentives should be provided aiming at having all of the states in the World stimulating FRP recycling and these wastes be prevented from contaminating the environment. If FRP suppliers cannot find the way for FRP recycling or way for providing the reuse of end-of-life products, they will lose their market shares.

This study describes the recycling experiment efforts which was performed using FRP dusts within roofing bitumen basis. It was seen from the experiment outcomes that FRP dusts provided positive contribution to the bitumen material features. In the future, reducing environmental pollution using FRP material wastes and providing positive benefits to the bitumen would be an advantage.

Keywords: Recycling, Plastic, Fiberglass Reinforced Polyester (FRP), Asphalt, Bitumen

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Kompozit Tanımı

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “Kompozit Malzeme” denir. (Kompozit Malzeme Nedir?, bt)

Kompozit malzemeler ile ilgili çalışmaların çoğu 20. yüzyılın ikinci yarısından günümüze kadardır. Tabiatıta bulunan ilk kompozit malzeme çam ağacıdır. Çam ağacının içi kışın sert ve kırılğan, yazın ise yumuşak ve esnektir. En ilkel kompozit malzeme örneği ise saman takviyeli kerpiçlerdir. Günümüzde en çok kullanılanlar ise; cam fiber takviyeli reçine, tungsten-molibden takviyeli alüminyum, karbon ve fiber takviyeli plastiklerdir. (Solmaz ve Gür, 2007)

Çeşitli plastik malzemelerin seramik, metal bazen de sert polimerlerin elyafları ile güçlendirilerek ileri derecede faydalar sağlayan malzemeler üretmek mümkündür. İçindeki plastik sayesinde kolaylıkla şekil verilebilen ve takviye elyaflar sayesinde son derece sağlam, sert ve hafif olan bu malzeme kombinasyonları, kompozitler hergün yepyeni uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadırlar. (Enşici, 2004)

Reçine katkı malzemeleri ilave edilmiş termoset reçinelerin veya termoplastların elyaf (cam, karbon, aramid, vs.) dolgu malzemeleri takviye edilmesi ve bu karışımın belirli bir işleme tabi tutulması sonucunda sertleşmesi ile elde edilen ürünler plastik kompozit malzeme olarak adlandırılır. (Kompozit Nedir?, 2005)

Kompozit malzemeler reçine (matris) ve takviye (reinforcement) bileşenlerinden oluşur. Kompozitler temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış elyaflardan oluşmaktadır. Bu bileşenler birbirleri içinde çözülmezler veya karışmazlar. Kompozit malzemelerde elyaf sertlik, sağlamlık gibi yapısal

özellikleri, plastik reçine malzemesi ise elyafın yapısal bütünlüğü oluşturmaları için birbirine bağlanması, yükün elyaf arasında dağılmasını ve elyafın kimyasal etkilerden ve atmosfer şartlarından korunmasını sağlar. (Solmaz ve Gür, 2007)

Kompozit malzemelerin, metal malzemelere tercih edilmelerinin nedeni ağırlık olarak % 25' lere ulaşan tasarruf sağlamalarıdır. (Kompozit Hakkında...,bt)

Kolay biçim verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunlukta olması, üstün yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımı plastiğin tercih edilmesindeki en önemli özelliklerdir. Bir çok üstün özelliğinin yanı sıra sertlik ve dayanıklılık özelliklerin malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950'lerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Kompozitler, özellikle polimer kompozitler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sunarlar. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden metallerle yarışabilecek durumdadırlar ve ayrıca daha hafiftirler. (Solmaz ve Gür, 2007)

Saf haldeki reçinelerin (takviyelerle birlikte) katkı malzemesi ile sertleştirilmesi sonucu elde edilen kompozit ürünlerin mekanik mukavemet değerleri diğer plastiklere göre kıyaslanamayacak kadar yüksektir. (Kompozit Nedir?, 2005)

1.1.1 Kompozitler Malzeme Avantaj ve Dezavantajları:

Tablo 1.1'de kompozit malzeme avantajları gösterilmektedir.

Tablo 1.1 Kompozit malzeme avantajları (Kompozit Nedir?, 2005)

Kompozit Profil Avantajları		Avantajlar	Uygulama Alanları
YÜKSEK MEKANİK ÖZELLİKLER	Üstün mekanik özellikler. Ağırlığına oranla güçlü dayanım özellikleri.	Ani kuvvetler ve kalıcı kuvvetler karşısında kalıcı deformasyona uğramaz.	Bu özellikleri sayesinde her türlü yapıda taşıyıcı olarak kullanılırlar.
HAFİFLİK	Pultruzyon profilleri çelikten %80, alüminyumdan %30 daha hafiftir.	Daha az ağırlıklarına rağmen yüksek performansa sağlarlar. Nakliyeleri yerine montajları daha rahattır.	Bu nedenle yürüme yolları, yükseltilmiş zemin, platform, köprü gibi yapılarda kullanılırlar.
KOROZYONA DAYANIM	Su ve atmosferik şartlara mükemmel dayanım gösterirler.	Kullanım süresi içinde bakım masrafları azalır.	Bu özellikleri ile tüm endüstriyel kuruluşlarda, soğutma kulelerinde, atık su tesislerinde, deniz kenarı ve deniz üstü limanlarında kullanılırlar.
ELEKTRİKSEL YALITKANLIK	Cam elyafından yapılma profiller mükemmel elektriksel yalıtkanlık özelliğine sahiptir.	Daha az malzeme ile çözüm sağlar. Anti manyetik özelliği ile çok geniş frekanslarda güvenlik sağlar.	Merdivenler, kablo kanallarında, transformatör ve trafolar, elektrik motorları, güç devreleri gibi alanlarda kullanılır.
DÜŞÜK ISISAL GENLEŞME	Sıcaklığa bağlı olarak alüminyumun 1/250 ve çeliğin 1/60 oranında genleşme gösterir.	İyi izolasyon sağlar. Enerji ihtiyacını azaltır.	Bu sayede soğutmalı nakliye araçlarında, cam çerçevelerin yapımında ve soğutma odaları ile soğutucuların yapımında kullanılır.
ŞEKLİNİ KORUMA ÖZELLİĞİ	Pultruzyon profilleri sıcaklık ve gerilme altında eğilme, burulma ve sıkıştırma gibi zorlanmalarda şekillerini ve boyutlarını korurlar.	Yüksek yükler altında kalıcı deformasyon oluşmaz.	Çadır ve reklam panelleri gibi esneklik gerektiren yapılarda taşıyıcı olarak kullanılırlar
GÜVENLİK	Pultruzyon profilleri hem dayanıklı hem de çalışmak için emniyetlidir. Anti mikrobiktirler	Pek çok ızgara hava ve hijyen olmayan koşullar nedeniyle mikrobik etkiye maruzdur.	Bu özelliği ile İlaç Sanayisi için ideal bir kullanım alanı bulurlar.

İyi bir görünüm vermeleri, diğer malzemelere uyumluluğu, kolay imal edilebilirlik ve yüksek üretim miktarları, düşük maliyet, kalite, uzun kullanım süresi ve iyi

performans, ham malzeme temin kolaylığı, çok iyi fiziksel ve kimyasal özellikler eklenebilir. (Kompozit Hakkında...,bt)

Tüm bu faydalarına rağmen kompozitlerin tamamıyla metalin yerine geçmemesinin Enşici'ye, (2004) göre dört ana sebebi vardır;

1. Titanyum ve çelik gibi metallerin bazı uygulamalarda ihtiyaç duyulan kritik düzeyde ısı, mekanik özellikleri günümüz kompozitleri karşılamamaktadır.
2. Yeni geliştirilen matris malzemelerle, elyafların tüm karakteristik özellikleri metaller kadar bilinmemektedir.
3. Bazı karmaşık biçimler düşük maliyetler çerçevesinde üretilmemektedir.
4. Kompozitler kg başına düşen üretim maliyeti metallerden, özellikle alüminyumdan, daha yüksektir.

Dezavantajlar;

- “1. Hammaddenin pahalı olması; Uçaklarda kullanılabilecek kalitede karbon elyafının bir metre karelik kumaşının maliyeti yaklaşık 50 \$ 'dır
2. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği bulunmaktadır.

3. Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur.

4. Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir.

o Malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır. Bazı tür kompozitlerin soğutulmuş olarak saklanmaları gerekmektedir.

o Sıcak kurutma gerekmektedir.

o Kompozitler onarılmadan önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Bazı durumlarda bu zor olabilir.

o Bazı kurutma teknikleri uzun zaman alabilmektedir.” (Enşici, 2004)

Plastik matrisli ve elyaf takviyeli kompozitlerin sürtünme ve aşınma özellikleri, büyük ölçüde kompoziti oluşturan bileşenlerin özelliklerine ve aralarında oluşan ara

yüzey özelliklerine bağlıdır. Bunlar matrisin türü, takviye malzemesi türü, takviye elemanının yapı içerisindeki dağılımı, elyaf hacim oranı, elyaf şekli, elyaf kalınlığı, elyafın matris içerisindeki yönelmesi, karşı yüzey malzemenin özellikleri ve takviye malzemesinin matrise göre sertliği gibi özelliklerdir. (Yaşar ve Arslan, 1998)

1.1.2 Kompozitlerde Matris Olarak Kullanılan Malzemeler;

Selimgil ve Yenier (bt) göre, **Kompozit** yapılar, genelde **kuvvetlendirici elyaflar** bunların içinde bulunduğu **matris** ve bazı durumlarda bir **çekirdekten** oluşur.

Kuvvetlendirici elyaflar: Matrisin içerisinde kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğinin sağlanması için istenen yerlerde/yönlere kuvvetlendirici elyaflar kullanılır.

Matris: İçine yerleştirilmiş kuvvetlendirici elyafları katılaştığında belli bir formda tutacak ve plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynayan üniform dolguya matris denir.

Matrisler; kompozit malzemelerde polimer esaslı matrislerin yanı sıra metal, seramik türevi malzemeler de matris olarak kullanılmaktadır. Diğer matrislerin kullanılmasına rağmen kompozit malzemelerin % 90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. Matris malzemelerinin genellikle plastik esaslı olmasından dolayı kompozit malzemeler de genellikle takviye edilmiş plastikler olarak adlandırılırlar. Metal matrisler büyük çaplı uygulamalarda kullanılmak için çok pahalı ve çalışmaları çok zordur. Seramik matrisler ise yüksek oranda kırılabilir olmalarından dolayı yeterli dayanıklılığa sahip olmamaları nedeniyle kullanım alanları yüksek ısı ile kullanılan yerlerle sınırlanmaktadır. Karbon matrisli kompozit malzemeleri üretmek çok zor ve çok pahalıdır. (Enşici, 2004)

Çekirdek (Core) malzemesi: Çekirdek, sandviç yapılarda elyaf/matris sisteminde oluşturulan iki deri (skin) arasına mukavemetini arttırmak üzere yerleştirilen bir malzemedir. (Selimgil ve Yenier, bt)

Tablo 1.2 Matris, takviye elemanı ve kompozit malzeme yapı tipleri (Enşici, 2004)

Matris Malzemeleri	Takviye Elemanları	Kompozit Yapının Şekli
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Granül	Kaplamalar
Seramikler	Whiskers	Film-Folya
	Pudra	Honey-Combs (Bal peteği)
	Yonga	Filaman Sarılmış Yapılar

Takviye malzemelerinin bir boyutu diğer boyutlarına göre daha fazla olduğunda elyaflardan bahsetmeye başlarız. Süreksiz elyaflar (doğranmış elyaflar, öğütülmüş elyaflar veya whiskers-püskül) birkaç milimetreden birkaç santimetreye kadar değişen ölçülerde olabilmektedir. Çoğu lifin çapı birkaç mikrometreyi geçmemektedir. Bu nedenle elyafın parçacık halden lif hali ne geçişi için çok fazla bir uzunluğa gerek yoktur. (Solmaz ve Gür, 2007)

“Elyafların matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur.

- Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür.
- Elyafların mukavemeti, kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranlar arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır.
- Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir. Elyaflarla pekiştirilmiş polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanma alanına sahiptir.
- Pekiştirici olarak cam, karbon kevlar ve boron lifleri kullanılır.” (Akdoğan Eker, 2008)

Kompozit malzemelerde kullanılan matrisler, polimerlerden (termosetler ve termoplastikler) metal ve seramiklere kadar değişmektedir. Polimerler düşük yoğunluklu göreceli olarak düşük dayanıklılıktadır. Başlıca polimer matris malzemeleri polyester, epoksi, fenol ve vinil esterdir. (Enşici, 2004)

Matrisler güçlü yapıştırma, çevre ve atmosfer şartlarına yüksek dayanım ve yüksek mekanik özellikler gösterirler. Bir matrisin öncelikle sağladığı mekanik özellikler yüksek sertlik ve yüksek dayanıklılık değerleridir. İyi bir malzeme sert olmalıdır, fakat gevrek bir malzemenin gösterdiği davranışlardan dolayı performansı düşmemelidir. Bu özellikleri büyük ölçüde karşılayan polimer esaslı matrisler termoset ve termoplastik matrisler olarak iki tür olarak bulunmaktadır. (Solmaz ve Gür, 2007)

Tablo 1.3 Başlıca termoset ve termoplastikler (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

BAŞLICA TERMOSETLER • SİLİKON REÇİNELER (Oto Cilası / Hassas Kalıplar) • FENOLİK REÇİNELER (Elektrik Aksanı) • FURAN REÇİNELER (Koruyucu Metal Kaplama) • ALKİD REÇİNELER (Yağlı Boya) • POLYESTER REÇİNELER • CİLA TİPİ • DÖKÜM TİPİ • DÜĞME TİPİ • CTP TİPİ BAŞLICA TERMOPLASTİKLER • ASETAL PLASTİKLER (Şaft Yağı) • AKRİLİK PLASTİKLER (Banyo Küveti) • SELÜLOZİK PLASTİKLER- SELÜLOZ ASETAT (Selofan Kağıdı) • FLÜOROKARBON ESASLI PLASTİKLER (Teflon) • İZOSİYANAT ESASLI PLASTİKLER (Poliüretan) • POLİOLEFİN PLASTİKLER- POLİETİLEN (Plastik Torba) • POLİPROPİLEN (Meşrubat kasası) • STİREN / POLİSTİREN (Cetvel / Yoğurt Kabı) • VİNİL PLASTİKLER - PVC (Boru / Pencere Doğraması) • POLİKARBONATLAR (Trafik Lambaları) • POLİAMİD (Otomotiv parçaları) • PBT&PET (Elektrikli Ev aletleri) • POLİPROPİLEN (Otomotiv parçaları)

Selimgil ve Yenier, (bt)'e göre termoset matrisler;

- Termoset esaslı kompozit malzeme matrisleri olarak en çok kullanılanlardır.

- Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar.
- Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar.

Akdoğan Eker (2008)'e göre,

“-Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci, termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşü olmayan bir süreçtir.

-Termoset matris malzemelerin üretiminde kullanılan malzeme tipleri; epoksi, polyester, vinylester ve fenolik reçinelerdir.

- Çoğu termoset matris sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) bekletildiğinde sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybederek biçim verilmesi zor bir hâl alır ve kullanılamaz duruma gelir. Dondurucu içinde olmak şartıyla raf ömürleri ise 6 ila 18 ay arasında değişmektedir.

- Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmez ve olağandışı hava şartlarında dahi uzun ömürlü olmaktadır.

-Yüksek mukavemet gerektirmeyen durumlarda en çok kullanılan matris malzemesi polyester reçinesidir.

-Gelişmiş kompozitlerin üretiminde ise genellikle epoksi reçinesi kullanılmaktadır.”

Matris malzemelerinin genellikle plastik esaslı olmasından dolayı kompozit malzemeler de genellikle takviye edilmiş plastikler olarak adlandırılırlar. (Solmaz ve Gür, 2007)

Tüm diğer matris alternatifleri arasında ticari olarak en uygun olan plastik matrisler arasında ise en çok kullanılan termoset esaslı olan polyester ve epoksi reçineleridir.

(Solmaz ve Gür, 2007)

Selimgil ve Yenier (bt)'e göre reçinelerin avantaj ve dezavantajları;

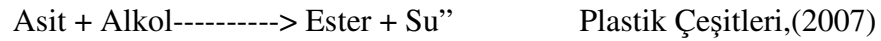
- Kolay kullanım
- Çok düşük maliyet, 0.5 – 1 \$/kg
- Sertleşme sırasında yüksek oranda çekme
- Zehirli Stiren gazı yayma

- Orta mekanik özellikler
- Kısa raf ömrüdür.

a) Polyester;

Polyester Matrisler özellikle denizcilik ve inşaat alanında en çok kullanılan termoset reçinedir. Kompozit malzemelerde kullanılan 2 tür polyester reçine vardır; daha ekonomik olan ortoftalik ve suya dayanım gibi daha iyi özelliklere sahip olan isoftalik polyesterdir. Polyester reçineler polimerizasyon süreçlerinin tamamlaması için katalizör ve hızlandırıcı olarak adlandırılan ek maddelere ihtiyaç duyarlar. Türkiye’de Cam Elyaf A.Ş. nin yanı sıra Boytek Reçine, Boya ve Kimya Sanayi Ticaret A.Ş. gibi firmalar da genel amaçlı kullanımlar için polyester üretmektedir. (Solmaz ve Gür, 2007)

“Genel olarak polyesterler aşağıdaki reaksiyona göre üretilirler :



Polyesterin ana tipleri, polyester bileşeninin doymuş asitle ya da alternatif malzeme olarak glikolle modifikasyonu temeline dayanır. Ayrıca kür işlemi ile matrisin esnekliği iyileştirilerek kopma gerilmesi artırılabilir. (Akdoğan Eker, 2008)

Akdoğan Eker, (2008)’e göre, polyester matrislerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Avantajları :

- Takviyelerin neminin kolayca dışarı atılabilmesine izin veren düşük viskozite.
- Düşük maliyet.
- Çeşitli uygulamalar için geniş bir sınır içinde kolay imal edilebilirlik.
- İyi çevresel dayanımlı olmalarıdır.

Dezavantajları :

- Kür sırasındaki yüksek egzotermik reaksiyon zayıf elyaf/matris bağı mukavemetine neden olur.
- Sistem gevreklemeye eğilimlidir.
- Çok seyreltik alkalilere bile zayıf kimyasal direnç göstermesidir.

Polyester reçine, genellikle doymamış dikarboksilik asit ve glikolün kondensasyonu sonucu elde edilir. Çift bağ ihtiva eden bir lineer polimerdir. Lineer polimer halinde iken rijid bir yapı göstermeyen polyesterleri üç boyutlu bir şebeke yapısına sahip polimer haline getirmek amacı ile içerisine bir miktar stiren veya benzeri çift bağlı monomerler katılır. Ayrıca polyestere belli özelliklerin verilmesi amacıyla stiren ile birlikte farklı maddeler de katılabilir. (Plastik Çeşitleri, 2007)

Polyesterlerin çoğu 250 °C' ye kadar emniyetle kullanılabilir. En büyük dezavantajı yukarıdaki reaksiyon sonucu, üretilmesi sırasında % 4 ila % 8 büzülmesidir. Bu büzülme sertleşme sırasında monomerlerin büzülmesi sonucunda ortaya çıkar. Bunun neticesi olarak düzgün bir yüzey elde etmek zordur. Değişen uygulamalar için pek çok tipte polyester geliştirilmiştir. Genel amaçla polyesterlere ilave olarak esnek ve yarı rijid tipler, ısı ve çevre değişimlerine ve kimyasal maddelere karşı dayanıklı tipler geliştirilmiş olup bu çeşitler bugün için çok fazla kullanım sahası bulabilmektedirler. (Plastik Çeşitleri, 2007)

Polyesterler; reçine matrislerin bilinen en eskilerinden ve en çok kullanılanıdır. Islak yatırma için uygundur. Sertleşmesi egzoterm kimyasal bir polimerizasyon sonucu olur. Bu arada solventi stirenmonomer açığa çıkar. Polyesterin saf halde korozif elementlere ve suya mukavemeti çok iyi değildir. İmalatta çalışma süresi 30-40 dakika ile sınırlıdır. Bu süreyi uzatmak için çeşitli inhibitörler kullanılabilir. Reaksiyonun egzoterm özelliği ve hızının güç kontrol edilebilmesi vakum altında imalatta çok büyük zorluklar getirir. (Onuk, bt)

b) Epoksiler; geniş kullanım alanına sahiptirler. (prepregs olarak) havacılık, spor, ulaşım, askeri ve deniz araçları elemanları. (Enşici, 2004)

Genellikle epoksi matris içinde sürekli elyaflar kullanılmaktadır. (Manazoğlu, Zeren ve Köse, bt)

Enşici, (2004)'e göre özellikleri:

- o İyi mekanik özellikleri,
- o Suya dayanımlı,
- o Islakken 140°C, kuruyken 220°C 'ye kadar ısı dayanımı,

- o Sertleşme sırasında düşük oranda çekme olması,
- o Yüksek maliyet, 5 – 25 \$/kg
- o Cilde aşırı zararlı olması
- o Doğru karışımın son derece önemli olmasıdır.

1970'lerin ortalarında A.B.D bor/epoksiden grafit/epoksiye geçmiştir. Bunun en önemli nedeni maliyet problemidir. 1979'da uçak yapımcıları tarafından "*prepreg*" adı altında üretilen grafit/epoksi malzemenin maliyeti 40 \$/lb iken bor/epoksi'nin maliyeti 180 \$/lb'dir. A.B.D'de bu geçiş askeri uçaklarda hızlı olmuştur. (Manazoğlu, Zeren ve Köse, bt)

Pre-emprenye (prepreg): Kuvvetlendirici elyafların önceden reçine ile ıslatılarak tatbiki hazır hale getirilmesi yöntemine “**prepreg**” denir. Prepreg’lerde genelde epoksi reçineler kullanılır. Reçine/elyaf oranının sıkı bir şekilde kontrol edilebildiği bu yöntem uçak sanayiinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Prepregler vakum hatta basınç (7 bar) altında piştiklerinden katlar arası yapışma çok başarılıdır ve boşluk muhteviyatı (void content) asgariye indirilmiştir. (Onuk, bt)

c) Vinil ester;

Enşici (2004) kaynağına göre vinil esterde:

- o Son derece yüksek kimyasal/çevresel dayanım
- o Polyesterden daha yüksek mekanik özellikler
- o Aşırı stiren içermesi
- o Polyesterden daha pahalıdır, (4 – 7 \$/kg)
- o İyi özellikler için ikincil kür işlemi gerekir.
- o Sertleşme sırasında yüksek oranda çekme meydana gelir.

d) Bismaleimid (BMI); Enşici (2004)’ göre, uçak motorlarında ve yüksek ısıya maruz kalan parçalarda kullanılır.

- o Son derece yüksek ısı dayanımı, yaş iken 230°C, kuru halde 250°C ‘dir.
- o Çok yüksek maliyetlidir. (80 \$/kg)

e) Fenolikler; Enşici (2004)’ göre ateşe dayanım ihtiyacı olan yerlerde kullanılır. Kür işleminin buharlaşma özelliği hava boşlukların oluşmasına ve yüzey kalitesinin

düşmesine neden olur. Uçakların iç bölümlerinde, deniz araçlarının motorlarında ve demiryollarında kullanılır.

- o Yüksek ateş dayanımı
- o Düşük maliyet, 4 – 8 \$/kg
- o Yaş halde son derece zararlı
- o Oldukça kırılğan olması
- o Düşük yüzey kalitesi de diğer özelliklerindendir.

f) Silikon;

Enşici (2004)' göre silikon matris özellikleri:

- o Yüksek ateş dayanımlı
- o Yüksek ısılarda ürün özelliklerini koruyabilme
- o Kür işlemi için yüksek ısı gerekli olması,
- o Maliyetinin 30 \$/kg'dan az olması gibi özellikleri sıralanabilir.

g) Cynate Esters; Esas olarak uçak endüstrisinde kullanılır. Mükemmel yapışkanlık özelliğine sahiptir. Yaş durumda 200°C'ye kadar dayanımı vardır. (Enşici, 2004)

Termoset plastikler içinde ise en çok kullanılanlar polyesterler, fenolik reçineler ve silikonlardır. Polyesterler bunların içinde en önde gelenleridir. Özellikleri, kullanım kolaylığı, imalat yatırımının az olması, her amaç için farklı formüllerde edilebilmelerinin yanında diğerlerinden çok daha ucuz olması polyesterin tercih edilmesine neden olur. Özel kullanım yerleri için epoksi reçineler yüksek mukavemetli ve kimyasal dirençlidir. Fenolik reçineler ise yüksek mukavemetin yanında büyük ısı direnci de istenen yerlerde kullanılırlar. (Plastik Çeşitleri, 2007)

Tablo 1.4 Bazı termoset plastik matris malzemelerinin özellikleri (Akdoğan Eker, 2008)

Özellikler	Epoksi			Polyester	Fenolik
	Oda Sıc. Kürlenmiş	Yük. sıc. Kürlenmiş	Gelişmiş		
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	1.1 - 1.3	1.2 - 1.4	1.3	1.2	1.2 - 1.3
Elastik modül (GPa)	2 - 3	2.5 - 3.0	3.5	2 - 3	5 - 11
Çekme mukavemeti (MPa)	50 - 70	70 - 90	60	50 - 60	50 - 60
Köp. uzaması (%)	2 - 6	2 - 5	2	2 - 3	1.2
Maks. İşlem sıc. (°C)	70 - 100	100 - 180	180	60 - 80	100 - 125

Termoplastik Matrisler;

Termoplastik polimerlerinin çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar, ısıtıldıklarında yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastik soğutucu içinde bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptirler. (Enşici, 2004)

Akdoğan Eker (2008)'e göre, yeni gelişmelerle termo plastiğin sağladığı bu artı değerleri son dönem termoset matrislerinden 977-3 Epoksi ve 52450-4 BMI reçineleri de sağlamaktadırlar.

“• Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere ihtiyaç duyulabilir.

- Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen termoplastiklerin üretiminde GMT (Glass Mat Reinforced Thermoplastics / Preslenebilir Takviyeli Termoplastik) olarak ta üretilmektedir.
- Bu yöntemle hazırlanan takviyeli termoplastikler soğuk plakaların preslenebilmesi ve geri dönüşüm sürecine uygunluğundan dolayı özellikle otomotiv sektöründe tercih edilmektedir.” (Akdoğan Eker, 2008)

Selimgil ve Yenier (bt)'e göre, termoplastik matrislerin özelliklerini sıralarsak;

- Matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır.
- Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar, ısıtıldıklarında yumuşarlar.
- Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır.
- Termoplastiklerin kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmemelerinin başlıca nedeni **üretimindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetidir .**
- Termoplastik reçineler malzemenin çekme ve eğilme dayanımlarının artırılması için kullanılırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde kullanılmaktadırlar.

Enşici, (2004) dediği gibi, termoplastik matrisler, oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlarlar, bu onların üretiminde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere ihtiyaç duyulabilir. Selimgil ve Yenier (bt) ve Enşici, (2004) belirttikleri gibi, termoplastikler termosetlere kıyasla hammaddesi daha pahalıdır.

Termoplastikler, Molekül yapısı olarak yan zincirler ve gruplar ihtiva ederler. Moleküller, elastomerlerde ve termosetlerde olduğu gibi üç boyutlu bir yapı teşkil etmezler. Moleküller arasında zayıf Van der Waals bağları vardır. Bu sebeple rijid yapıya sahip değildirler. Isı altında yumuşarlar, bu özelliklerinden faydalanarak ısıtılmak suretiyle şekillendirilirler. Bu şekil değişikliği esnasında hiçbir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Tekrar tekrar ısıtılarak yeni şekiller alabilirler. Piyasada toz ve granül halde bulunurlar. Kompozit malzeme imalinde az da olsa kullanılırlar. (Plastik Çeşitleri, 2007)

Termosetler, Molekül yapıları, polimerizasyon sırasında molekülün reaktif olan kısmı moleküller arasındaki zincir yapıyı teşkil eder. Moleküller bir üç boyutlu yapısı teşkil edecek tarzda birbirlerine bağlı bir rijid yapı ihtiva ederler. Bu bağlama esnasında meydana gelen olay tek yönlü kimyasal bir reaksiyondur. Plastik malzeme şekil aldıktan sonra sertleşir ve malzeme artık yumuşayıp şekil değiştiremez. (Plastik Çeşitleri, 2007)

Termoset esaslı kompozit malzeme matrisleri olarak en çok kullanılanlar termoset matrislerdir. Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar. Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Çoğu termoset matris sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) bekletildiğinde sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybederek biçim verilmesi zor bir hâl alır ve kullanılamaz duruma gelir. Dondurucu içinde olmak şartıyla raf ömürleri ise 6 ila 18 ay arasında değişmektedir. Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmez ve olağan dışı hava şartlarında dahi uzun ömürlü olmaktadır. (Solmaz ve Gür , 2007)

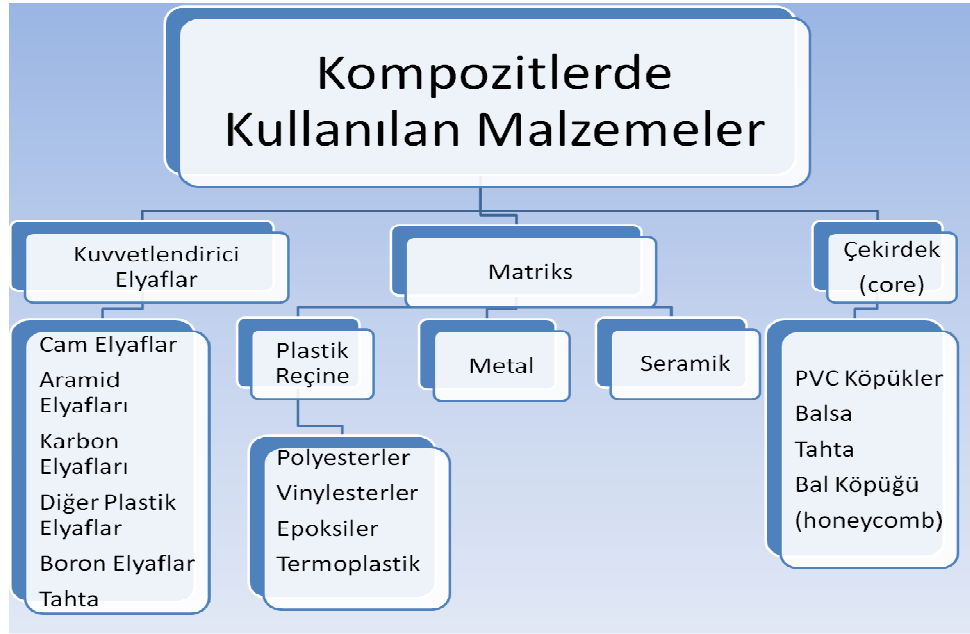
“Kısaca plastikler temelde iki gruba ayrılır. Termoplastikler ve termosettingler.

Termoplastikler ısıyla tekrar tekrar biçimlenebilen hemen pekçok popüler plastik türünün içinde yer aldığı geri dönüşümlü plastik grubudur. Termosettingler ise kimyasal tepkimeyle şekillendirilen ve diğer grup gibi eritilip tekrar biçimlendirilemeyen plastik grubudur.” (Zenger Ltd. Şti, 2008)

1.1.3 Takviye Türlerinin Karşılaştırılması

Kompozit malzemelerde kullanılan elyafların fiziksel biçimleri, oluşturulan yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir faktördür. Takviyeler temel olarak üç farklı biçimde bulunmaktadır; parçacıklar, süreksiz ve sürekli elyaflar. (Solmaz ve Gür, 2007)

Şekil.1.1’de kompozitlerde kullanılan malzemeler gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Kompozitlerde kullanılan malzemeler (Selimgil ve Yenier, bt)

Sürekli elyaf lar ise tel sarma yöntemi gibi yöntemlerde kesilmeden ip şeklinde kullanılmaktadır. Elyaf lar en yüksek mekanik özelliklerini enlerinden daha çok boylarına gösterirler. Bu özellikler kompozit malzemelerin metallerde rastlanmayan aşırı anisotropik malzeme özelliği göstermelerine neden olur. Bu nedenle tasarım aşamasında elyaf ların reçine içindeki yerleşimleri ve geometrilerini gözönünde bulundurmak çok önemlidir. Malzemenin anisotropik özelliği tasarım aşamasında ürünün uygun yerinde kullanılarak avantaja dönüşebilir. (Solmaz ve Gür, 2007)

Kompozit malzemelerde takviye amacıyla kullanılan elyaf lar;

Enşici, (2004)'e göre takviye elyaf ları:

- 1 Doğal elyaf lar (yerlerini sentetik elyaf lara bırakmışlardır)
- 2 Sentetik, organik elyaf lar; Naylon, aramid (düşük yoğunluklu ve güçlü elyaf lardır)
- 3 Sentetik inorganik, elyaf lar; Cam, karbon boron vb.

Yaygın kullanımı olan kompozit takviye türleri arasındaki bazı temel farklılıkları belirtmek amacıyla aşağıdaki Tablo 1.5 düzenlenmiştir. (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Tablo 1.5 Takviye türleri özellikleri (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Takviye Türleri	Gerilme Dayanımı (MPa)	Gerilme Modülü (GPa)	Özgül Ağırlık	Özellikler
Cam	3000 - 5000	72 - 82	2.48 - 2.60	Yüksek mukavemet, İyi kalıplama özellikleri, Düşük maliyet
Karbon / Grafit	2500 - 3000	200 - 700	1.75 - 1.96	Yüksek modül, Elektriksel iletkenlik, Yüksek maliyet
Aramid	2750 - 3000	82 - 124	1.44	İyi spesifik özellikler, Orta maliyet
Boron	3500	400	2.55	Yüksek modül, Yüksek maliyet
Polyester	1000	9	1.38	İyi darbe dayanımı ve Alkali dayanımı
Naylon	950	5	1.16	İyi darbe dayanımı ve Alkali dayanımı
Polietilen	1200 - 1500	40 - 60	0.97	Düşük yoğunluk, İyi darbe dayanımı, Düşük derece

Akdoğan Eker, (2008)'e göre:

- “Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır.
- Matris yapı da boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır.
- Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir.
- Günümüzde kompozit yapılarda en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar.
- Cam elyaflar teknolojide kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir.
- Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile, büyük kütsel yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler.
- Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır ;
- Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.

--Boy/ap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması

--Elastisite modülünün çok yüksek olması”

En çok kullanılan kompozit malzeme kombinasyonları;

Cam elyafı+ polyester, karbon elyafı+epoksi ve aramid elyafı+epoksi birleşimleridir.

CTP (Cam Takviyeli Polyester-CTP/Glassfiber Reinforced Polyester/GRP, FIBERGLASS) günümüzde en çok kullanılan ve ilk modern polimer esaslı kompozit malzemedir. (Selimgil ve Yenier, bt)

1.1.3.1 Cam Elyafı

Cam ve karbon elyaf kompozitler vardır, bunlardan en kapsamlı araştırma cam elyaf üzerinde yapılmıştır. (Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, 2008)

Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılandır. Cam elyafı özel olarak tasarlanmış ve dibinde küçük deliklerin bulunduğu özel bir ocaktan eritilmiş camın itilmesiyle üretilir. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir. Özellikle cam elyafı ile matris arası yapışma gücünü arttıran "silan" bazlı ve elyaf üzerinde ince film oluşturan kimyasalların sonra kullanım sahaları artmıştır.

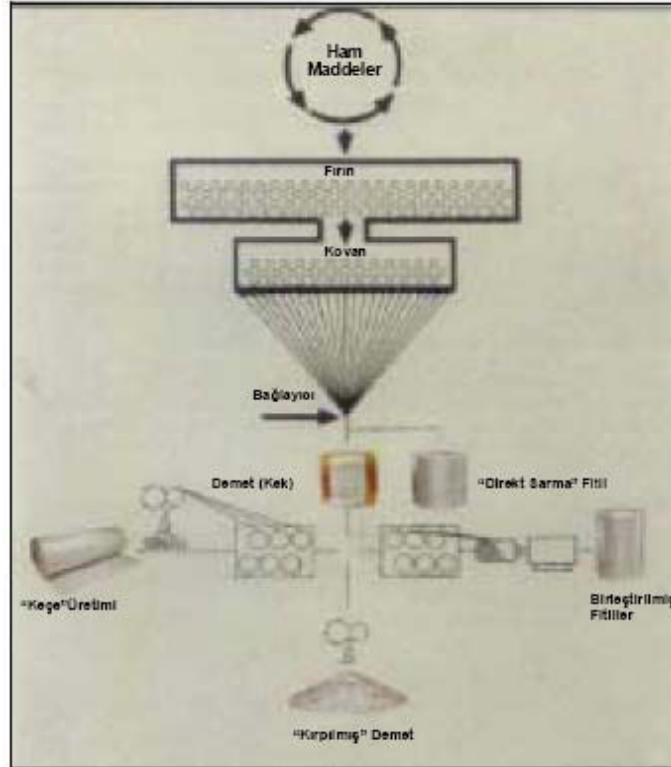
(Enşici, 2004)

Cam elyafları oldukça iyi ıslanabilen ve kullanımı nisbeten kolay elyaflardır. (Onuk, bt)

Elyaflar işlem sırasında dayanıklılıklarının %50’sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Cam elyafı halen aramid ve karbon elyaflarından daha yüksek dayanıklılık özelliğine sahiptir. Elyaf kumaşları genellikle sürekli cam elyafının lifleri ile üretilmektedir. İşlemler sırasında değişik kimyasalların eklenmesi ve bazı özel üretim yöntemleri ile farklı türde cam elyafı retilabilmektedir. (Enşici, 2004)

Çok ince öğütüldükten ve homojen olarak karıştırıldıktan sonra, karışım yaklaşık 1600 °C sıcaklıktaki ergitme fırınına verilmekte ve burada yavaş yavaş sıvı hale dönüşen cam eriyiği, platin/rodyum alaşımlı kovanlardan, bir sarma sistemi ile, yüksek hızda çekilmekte ve 10-25 mikron çapında elyaf olarak bobin haline getirilmektedir. (CTP-SANDER, 2005)

Şekil 1.2’de cam elyaf üretimi gösterilmektedir.



Şekil 1.2 Cam elyaf üretimi (Akdoğan Eker, 2008)

Akdoğan Eker (2008)’e göre:

- “Cam elyaflar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuarts camına kadar pek çok tipte imal edilirler.
- Cam amorf bir malzemedir . Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir.
- Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis (SiO_2) şeklinde bulunur.
- Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken 1260 °C civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir.
- Cam elyaf silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir.

- Cam elyaf, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılanıdır.”

Cam Sanayii Raporu MMP Ön Raporu, EK 2D (bt)’de geçtiği üzere:

“Cam Elyafı; Cam eritme ve üretimi, bir fırında kum, kalker, borik asit vs. girdilerin tartımlı karışımlarının ergitilmesi ile başlar. Elyaf üretimi gelişme süreci içinde belli başlı iki yöntem mevcuttur. İlki olan erimiş cam damlalarından meyilli yivli oluklardan şekillendirilerek elde edilen cam bilyalardan elyaf çekme yöntemidir. Bugün Dünya’daki ve Türkiye’deki modern uygulamalarda girdilerin otomatik, olarak kapalı sistem ile tartım sonrasında başlayan ergitme işlemi kontinu olarak üretim yapan “unit melter”de devam etmektedir. Kontinu sistem ile yapılan üretimde sağlanan stabil ürün kalitesi, bilya üretiminde sağlanamamaktadır.”

1.1.3.1.1 Cam Elyafının Özellikleri. Cam elyafın bazı özellikleri Akdoğan Eker (2008)’de geçtiği üzere aşağıdaki gibi özetlenebilir ;

- “Yüksek çekme mukavemetine sahiptirler, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden daha yüksektir.
- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar. Bu özellikleri katkı malzemeleri kullanılarak iyileştirilebilir.
- Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
- Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyafı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
- Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyafı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanır.
- Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır.”

Dört farklı tipte cam elyaf bulunur:

1- A Cam - Pencerelerde ve şişelerde en çok kullanılan cam çeşididir. Kompozitlerde çok fazla kullanılmaz. (Enşici, 2004)

Akdoğan Eker (2008)’e göre ise, A (Alkali) camı; yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtımlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek olan A camı, en yaygın cam tipidir.

2- C Cam - Yüksek kimyasal direnç gösterir. Depolama tankları gibi yerlerde kullanılır. (Enşici, 2004)

Akdoğan Eker, (2008)'e göre, C (Korozyon) camı; kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir.

3- E Cam -Takviye elyaflarının üretiminde en çok kullanılan cam türüdür. Düşük maliyet, iyi yalıtım ve düşük su emiş oranı özelliklerine sahiptir. Türkiye'de Şişecam Grubuna bağlı olan Cam Elyaf Sanayii A.Ş. tarafından E camı elyafı üretilmektedir. Hem yurtiçine, hem yurt içine satış yapan firmadan doğrudan veya bayileri aracılığıyla ürün satın almak mümkündür. 1976'dan beri faaliyet gösteren firma Avrupa'nın önemli elyaf üreticilerinden biridir. (Enşici, 2004)

Akdoğan Eker, (2008)'e göre, E (Elektrik) camı; düşük alkali oran nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır.

4- S + R Cam - Yüksek maliyetli ve yüksek performanslı bir malzemedir. Yalnız uçak sanayisinde kullanılır. Elyaf içindeki tellerin çapları E Cam'ın yarısı kadardır, böylelikle elyaf sayısı fazlaşır dolayısıyla birleşme özelliklerinin daha güçlü olması anlamına gelen daha sert yüzey elde edilebilmektedir. (Enşici, 2004)

Akdoğan Eker, (2008)'e göre, S, R (Mukavemet) camı; Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar.

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti (MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genleşme katsayısı (m/m/°C x 10 ⁻⁶)	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katki Malzemeleri (%)				
SiO ₂	72.0	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	0.3

Şekil 1.3 Cam tiplerinin özellikleri (Akdoğan Eker, 2008)

Özetle bu cam tiplerinin karakteristik özellikleri Şekil 1.3 ve Şekil 1.4.'deki gibidir.

- Bileşenlerine bağlı olarak, kullanışlı elyaflar dönüştürülebilen çeşitli cam tipleri mevcuttur.

Tip	Genel Karakteristik
E D A C R,S	Genel kullanım, iyi elektriksel özellikler Yüksek dielektrik değerler Yüksek alkali içerir İyi kimyasal dayanım Yüksek mekanik özellikler

Özellikler	E-Camı	R-Camı
Yoğunluk ρ g/cm ³	2,6	2,55
Elastiklik Modülü E GPa	73	86
Çekme Dayanımı Rm MPa	3400	4400
Maksimum Uzama %	4,4	5,2
Poisson Oranı	0,22	-

Değişik türlerdeki camların karakteristikleri

E ve R tipi camların mekanik özellikleri

Şekil 1.4 Camların karakteristik özellikleri (Akdoğan Eker, 2008)

Cam elyafının kullanım amacına bağlı olarak elyaf sarma biçimleri farklı olabilir. Elyaf çapı ve demetteki lif sayısı farklılaşabilir. Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanımının artması için kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Kaplama malzemesi olarak genellikle elyafın kompozit malzemeye uygulanmasından

önce kolaylıkla kaldırılabilen ve suyla çözülebilen polimerler kullanılmaktadır. Elyaf ile reçinenin birbirine iyi yapışması çok önemlidir. İyi yapışmaktan dolayı birbirinden kayan takviye malzemesi ve matris, kompozit malzemenin sertliğini ve sağlamlık performansını düşürür. Bu durumun engellenmesi için elyaf kimyasallarla kaplanır. (Enşici, 2004)

KOMPOZİT	MALİYET
E Camı/Epoksi	1
S Camı/Epoksi	4-8
Kevlar/Epoksi	15-40
Karbon(HT)/Epoksi	30-60
Karbon(HM)/Epoksi	80-120

Şekil 1.5 Farklı elyaflardan oluşan kompozitlerin birim maliyetleri (Akdoğan Eker, 2008)



Şekil 1.6 Cam elyaf takviyeler (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Cam Sanayii Raporu MMP Ön Raporu, EK 2D (bt)'te geçtiği üzere; elyaf çekme işlemi, elektrikle ısıtılan platin/rodyum karışımı bushingler vasıtası ile, bushing üzerinde bulunan 200 veya bu sayının katları kadar fazla sayıda nozullardan yapılır.

Bu şekilde elyaf çekimi sonucunda elde edilen bobinler :

Fitil

Keçe

Kırpılmış Demet

Dokunmuş Fitil

İplik ürünlerini meydana getirmek için kullanılır.

Yine Cam Sanayii Raporu MMP Ön Raporu, EK 2D (bt)'te geçtiği üzere bu bobinlerin tanımları şöyledir:

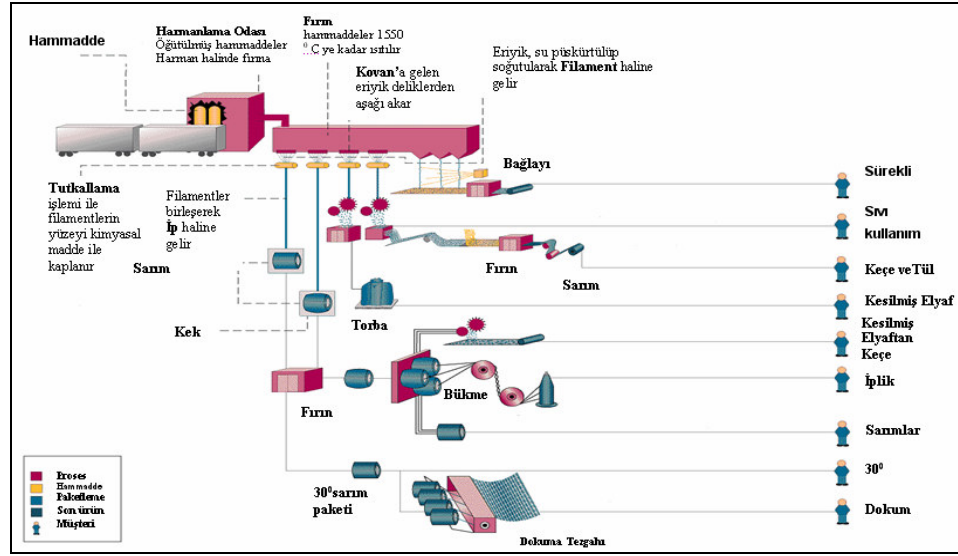
“Fitil: Bükülmeden sarılmış elyaf demetleridir. Kullanım yerlerine göre, sarılan tel sayısı, birlikte sarılan demet adeti ve üzerine applike edilen bağlayıcı formülasyonu değişmektedir. Püskürtme, elyaf sarma veya kırpma metodları ile CTP (Cam Takviyeli Plastik) üretiminde kullanılır.

Dokunmuş Fitil: Aynı veya değişik ağırlıkta fitillerin atkı ve çözgüde kullanılarak dokunması ile elde edilir. Keçe ile birlikte çeşitli açık kalıplama, pres kalıplama ve reçine enjeksiyonu ile kalıplama uygulamalarında kullanılır.

Kırpılmış Demet: Elyaf üreticisi tarafından elyaf çekme sonrasında elde edilen bobinlerin ikinci bir proses ile 3-24 mm arasında kırılarak satışa hazır duruma getirilen ürün grubudur. Polyester gibi termoset veya polyamid, polypropilen gibi termoplastik reçinelerin içerisine karıştırılarak pres ve enjeksiyon kalıplama metodu ile üretilmeye uygun termoset ve termoplastik bileşik halinde hazırlanır.

Keçe: Elyaf üreticisi tarafından elyaf çekme sonrasında elde edilen fitil bobinlerinin ikinci proses ile keçe makinesinde 20-50 mm uzunluğunda yatay düzlemdeki taşıyıcı band üzerine kırılarak istenilen gram/m²'ye ulaşılacak şekilde serpiştirilir. Toz veya sıvı bağlayıcı ile birbirine bağlanır. Hat sonunda, fırından da geçen ürün karton miğferler üzerine sarılarak satışa hazır ürün halinde alınır. Keçe halindeki cam elyafı, el yatırması metodu ile üretilen CTP ürünlerinde veya makine ile üretilen ışık geçirgen ve opak levhalarda kullanılır.”

Akdoğan Eker (2008) kaynağından alınan, cam elyaf üretimleri Şekil 1.7.'de görülmektedir:



Şekil 1.7 Cam elyaf üretimi (Akdoğan Eker, 2008)

1.1.4 Kompozit Malzeme Kullanım Alanları

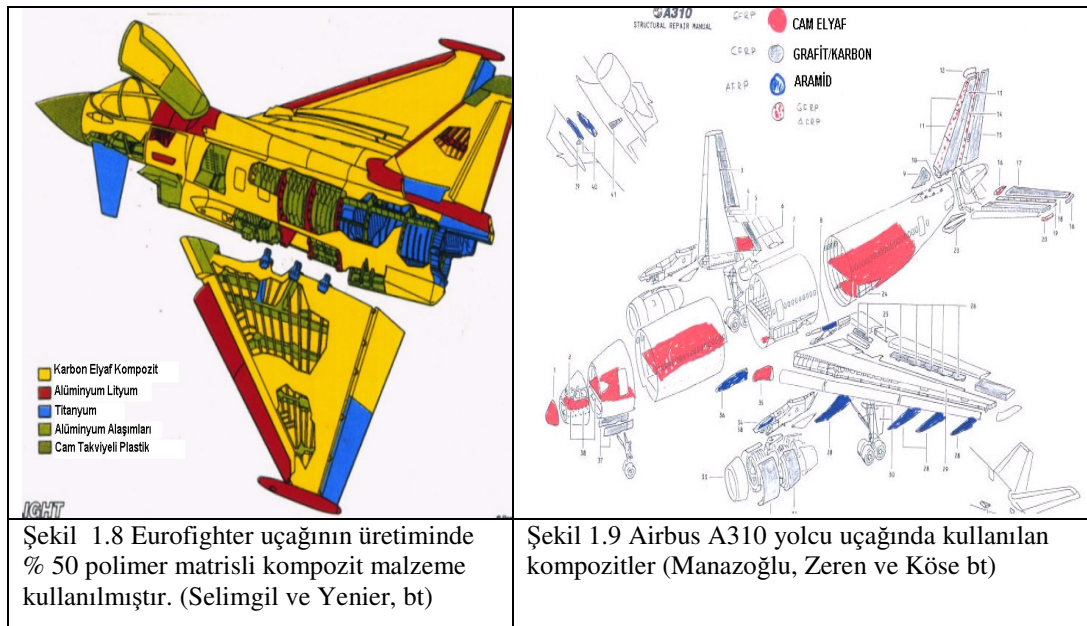
Kompozit malzemeler artık gittikçe artan oranlarda ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimleri son dönemde yeni bir çok sektörde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır. (Enşici, 2004)

Tablo 1.6 ABD'nin 1991-1994 yılları arasında "milyon kg" cinsinden kompozit malzeme ithalatı (Enşici, 2004)

Pazar	1991	1992	1993	1994
Uçak ve Uzay sanayi	17.6	14.7	11.5	11.0
Ticaret gereçleri	61.3	65.0	66.9	72.9
İnşaat	190.5	219.1	240.4	270.7
Tüketici Ürünleri	67.4	73.6	75.2	79.3
Korozyona Dayanıklı Ürünler	161.0	150.7	159.7	170.7
Elektrik	104.8	117.9	124.7	135.8
Deniz	124.7	138.1	144.8	164.9
Ulaşım	309.4	340.2	372.9	428.9
Diğer	33.5	37.8	40.5	46.2
Toplam	1070.2	1157.1	1236.6	1380.4

Kompozit malzemeler seramik-seramik, metal-metal, metal-seramik, metal-polimer, polimer-polimer yada polimer-seramik olabilir. (Selimgil ve Yenier, bt)

Kompozit malzemelerin en yaygın türü elyaf takviyeli kompozitlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi olarak ilk sırayı cam almıştır. Matris malzeme olarak plastik reçineler en fazla kullanılan tür olup bunlardan da polyester ucuzluğu sebebiyle ilk sırayı almaktadır. Epoksi reçine ise yüksek mukavemet ve kimyasal dayanım sebebiyle uzay, havacılık, ev ve spor aletleri yapımına kadar çok geniş bir alanda kullanım imkanı bulmuştur. Grafit ve kevlar elyaf-epoksi kompozitler, ileri kompozitler olarak Şekil 1.8 ve Şekil 1.9’de görüldüğü üzere, uzay ve havacılık endüstrisinin temel malzemeleri olmuşlardır. (Solmaz ve Gür, 2007)



Uçak yapısı için malzeme seçiminde önemli bir kriter olan mekanik özelliğin yoğunluğa oranı ile ifade edilen, özgül mekanik özellik değerleri karşılaştırıldığında bor/epoksi ve karbon/epoksi kompozitlerin konvansiyonel malzemelerden önemli farklarla üstün oldukları görülmektedir. (Manazoğlu, Zeren ve Köse, bt)

Kompozitleri oluşturan temel malzemeler: Polimerler, termosetler, reçineler veya termoplast reçineler, takviye malzemeleri, katkı malzemeleri ve dolgu malzemeleridir. Cam elyaf takviyesi ile fiziksel mukavemetleri arttırılmış kompozit malzemeler ahşap, beton, metal, cam gibi bir üretim malzemesi olup, kullanım amacına uygun değişik özelliklerin kolayca kazanılabilmesi özelliği ile diğer üretim malzemelerine göre üstünlük gösterir. Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) olarak

adlandırılan kompozitler ticari olarak en uygun kullanım alanına sahip takviyeli polyesterlerdir. (Kompozit Nedir?, 2005)

En çok kullanılan kompozit malzeme kombinasyonları; Cam elyafı+polyester, karbon elyafı+epoksi ve aramid elyafı+epoksi birleşimleridir. Kompozit malzemeler katlı tabakalar veya ince tabakalar halinde uygulanabilmektedir. 1940'ların sonlarında geliştirilen CTP (Cam Takviyeli Polyester-CTP/ Glassfiber Reinforced Polyester/GRP, FIBERGLASS) günümüzde en çok kullanılan ve ilk modern polimer esaslı kompozit malzemedir. Bugün üretilen tüm kompozit malzemelerin yaklaşık olarak % 85'i CTP'dir ve çoğunlukla tekne gövdeleri, spor araçları, paneller ve araba gövdelerinde kullanılmaktadır. (Enşici, 2004)

1.1.5 CTP (Cam Takviyeli Polyester)

CTP Cam elyafı ile takviye edilerek fiziksel mukavemet değerleri artırılmış doymamış polyesterden oluşan kompozit bir malzemedir. (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)



Şekil 1.10 CTP bileşenleri(Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

“Amerikada **GRP** (Glass fiber Reinforced Plastic)

İngilterede **FRP** (Fiber glass Reinforced Plastic)

Fransa’da **PRFV** (Plastique Renforce de Fibres de Verre)

Almanya’da **GFK** (Glasfaser Kunstsoffe)

İtalya’da **PRFV** (Plastici Rinforzati di Fibro di Vetro)

Türkiye'de **CTP** (Cam elyaf takviyeli polyester) olarak adlandırılır.” (Kompozit Hakkında..., bt)

“CTP” Camelyafı Takviyeli Plastik sözcüklerinin baş harflerinden oluşan, Türkçe bir kısaltmadır. (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Camelyaf ile güçlendirildiği zaman, cam takviyeli plastik ya da kısaca fiberglas adıyla bilinir. Uzaya atılan mekiklerin ön konileri gene takviyeli kompozitlerden yapılmaktadır. Yeni dönemde kompozitler, çok hafif notebook üretiminde kullanılmaya başlandı. (Zenger Ltd. Şti, 2008)

CTP; ahşap, beton, metal, cam v.b gibi bir üretim malzemesi olup, kullanım amacına uygun değişik özelliklerin kolayca kazandırılabilmesi özelliği ile diğer üretim malzemelerine göre üstünlük gösterir. (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Cam elyafı takviyeli plastik, ortam koşullarına dayanıklı, esnek ama yeterli mekanik dayanıma sahip olmayan plastik (ör: polyester reçine) ile, yüksek mekanik dayanımlı cam elyafının bir araya getirilmesi ile elde edilen üstün nitelikli bir kompozit mühendislik malzemesidir. (CTP-SANDER, 2005)

Cam Elyaf Takviyeli Plastikler (CTP) temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış cam elyaflardan oluşmaktadır. (Sarıbıyık, 2006)

CTP-SANDER (2005) 'e göre kısa bir tanımlama ile kompozit kavramı,

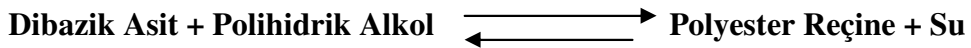
“-Birkaç matriksin bir araya gelmesi,

-Her matriksin kendi fiziksel özelliklerinin avantajlarını taşıması,

-Ortak matriksin, fiziksel özellik bileşkesini oluşturması olarak ifade edilebilir.

CTP malzemenin iki ana hammadde bulunmaktadır: Doymamış polyester reçine ve cam elyafı.”

CTP-SANDER (2005) 'de geçtiği üzere, polyester reçineler, çok geniş bir kimyasal aileyi kapsar ve genel olarak dibazik asitlerle polihidrik alkollerin kondensasyon reaksiyonu sonucunda elde edilirler.



CTP-SANDER, (2005) belirttiği üzere, CTP, takviye malzemesi (camelyafı) ve taşıyıcı matris'in (reçine) birlikte kalıplanması ile elde edilmektedir. Polyester reçineler; kimyasal bir reaksiyon ile polimerize edilerek, sert, çözülmeyen,

ergimeyen bir madde haline dönüştürülmektedir. CTP malzemenin kalitesi, (performansı), cam elyafı/reçine arasındaki bağın kuvveti ile doğru orantılıdır.

Fiziksel performans, takviye malzemesi olan cam elyafının,

- CTP içindeki oranına
- CTP içindeki dağılımına
- CTP içindeki yönüne bağlıdır.

1.1.5.1.Cam Elyafı Takviyeli Polyester Genel Özellikleri :

POLİFORM (bt) internet sitesine göre, CTP özellikleri:

Her türlü hava şartlarına ultraviyole ışınlar, ozon ve hidrokarbonlara karşı dayanıklıdır.

Her türlü boya ile boyanabilir özelliktedir.

+95 , -30 derece sıcaklığa karşı dayanıklıdır.

Sodyum klorür, benzin, mazot, gazyağı % 3 sülfirik asit gibi kimyasallara dayanıklıdır.

Elektrik akımını iletmez.

CTP-SANDER (2005)' göre CTP malzemenin en önemli avantajları,

- “Yüksek özgül mukavemet ve ısı özellikler
- Mükemmel elastikiyet
- Hafiflik
- Yüksek korozyon dayanımı
- Mükemmel dielektrik nitelikler
- Üstün boyutsal stabilite
- Tasarım esnekliği
- Kalıplama esnekliği (değişik metodlarla üretilebilme esnekliği)
- Bakım gerektirmeme
- Çalınmazlık (hurda değeri yoktur)
- Kolay tamir edilebilirlik
- Yüksek kimyasal dayanım
- Kendinden renklendirilebilme olanağı
- Alev geciktirici katkıları ile alev direnci niteliği

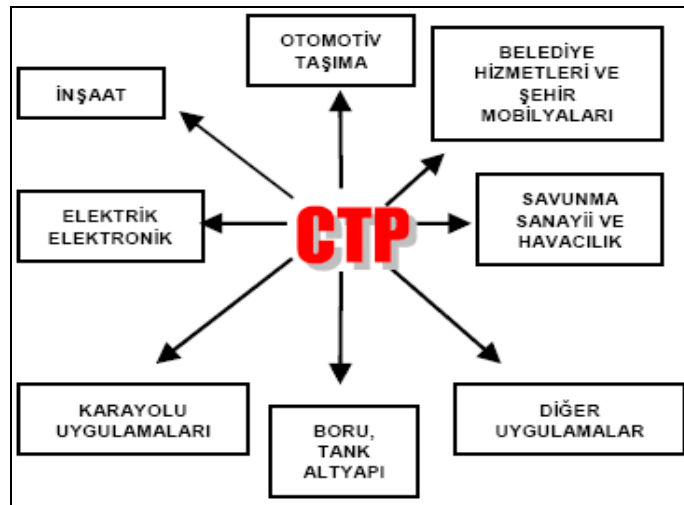
- İstenildiğinde ışık geçirgenlik özelliği sağlanması
- Düşük araç-gereç maliyeti
- Yüksek amortisman süreleri (sonsuz ömür) şeklinde ifade edilebilir.”

Uygulamanın doğru yapılmış olması koşuluyla son derece güvenle kullanılırlar. Örneğin bir kompozit türü olan cam takviyeli polyesterde kalsit, talk gibi dolgu malzemeleri kullanılması ya da uygulamada malzeme içindeki hava kabarcıklarının yeterince defedilmemiş olması dış etkilere karşı direnci zayıflatır. (Zenger Ltd. Şti, 2008)

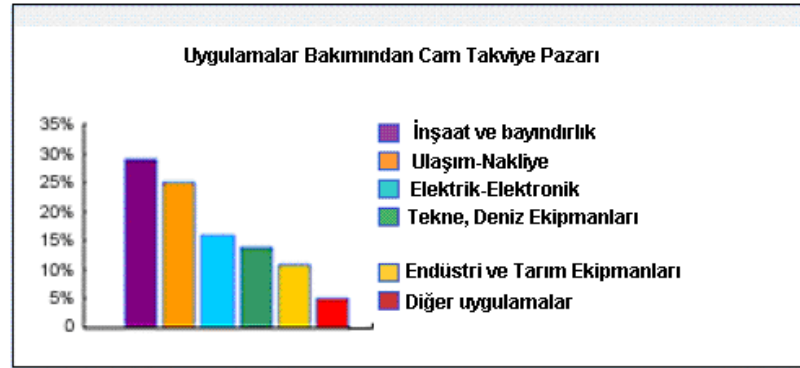
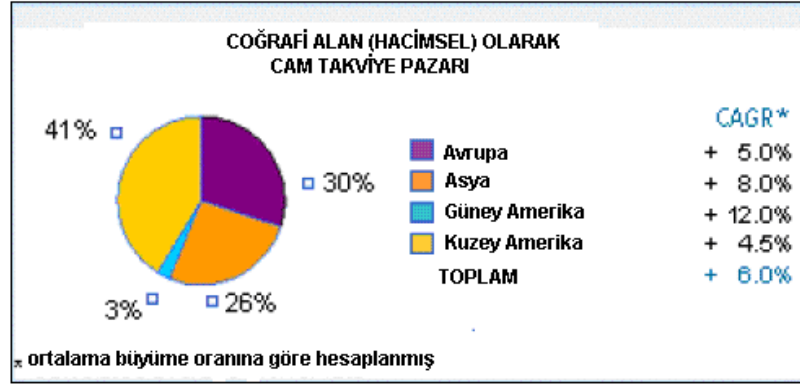
CTP malzemenin üstün mekanik dayanımının yanı sıra, hafifliği, korozyon dayanımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, düşük ısı iletkenliğine sahip olması, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymaması, üretimin düşük iş gücü ile yapılabilir olması, kolay kesilebilir ve işlenebilir olması gibi özelliklerinden dolayı CTP profilleri inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olma yönünde hızla ilerlemektedir. Bütün bu üstün özelliklerinden dolayı inşaat sektöründe birincil (taşıyıcı) eleman olarak kullanılmasının yolları aranmıştır. Başlangıç aşamalarında fazla yüke maruz kalmayan küçük yapılar daha sonra ise daha kapsamlı yapılarda kullanılma çalışmaları devam etmiştir. (Sarıbiyık, 2006)

1.1.5.2 CTP Kullanım Alanları

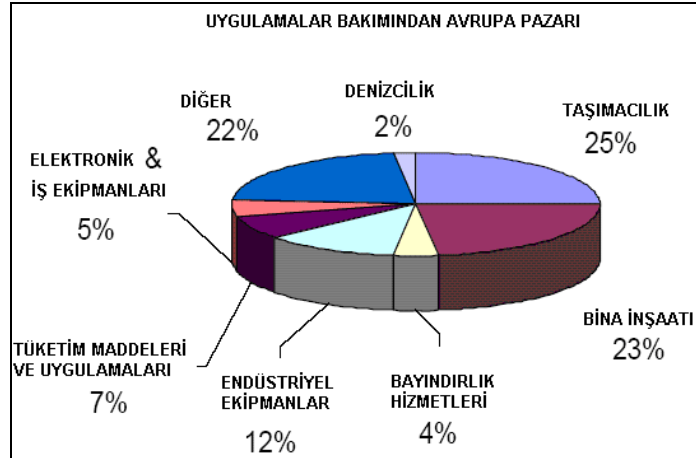
Şekil 1.11, Şekil 1.12 ve Şekil 1.13 CTP kullanım alanlarını ve dünya CTP pazarını göstermektedir.



Şekil 1.11 CTP kullanım yerleri (CTP-SANDER, 2005)



Kaynak : Saint-Gobain internet site. **CTP dünya üretimi 4.2 milyon.ton/yl**
Şekil 1.12 CTP pazar payları (ReFiber ApS, b.t)

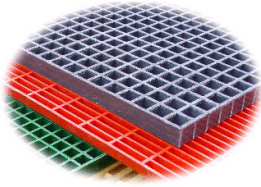
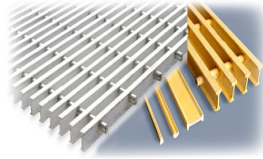
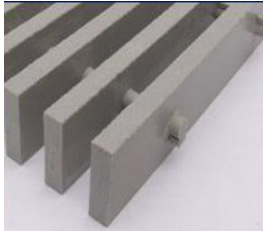


Şekil 1.13 CTP Avrupa pazarı (EuCIA, bt)

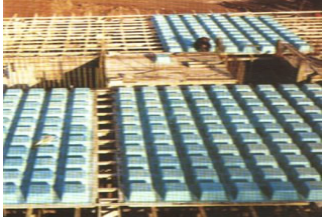
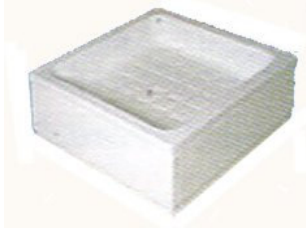
Son yıllarda elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin üretimi ve endüstriyel uygulamalarda kullanımı büyük ölçüde artmıştır. Bu malzemelerin yüksek özgül mukavemet ve rijitliğe sahip olması uzay sanayi, otomotiv ve kimya endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmasını sağlamıştır. Ayrıca bu malzemelerden dişli, kam, tekerlek, fren ve debriyaj balatalar, yataklar, muylular gibi aşınmaya maruz kalabilecek parçaların imali de gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. (Yaşar ve Arslan, 1998)

POLİFORM, (bt)'a göre, izolasyon, tekne, su deposu ve tankları, sanayi parçaları, özel inşaat kalıpları, özel otomobil parçaları, büro, oto, oturma grupları sünger kalıbı, alüminyum ve epoksi kalıplar, inşaat yağmur olukları ve saçak kaplamaları yapılmaktadır.

Çeşitli kullanımları Şekil 1.14, Şekil 1.15, Şekil 1.16, Şekil 1.17'de gösterilmiştir.

<u>PROFİLLER</u>	<u>CTP IZGARALAR</u>	<u>IZGARALAR</u>
		
<u>AĞIR YÜK IZGARALARI</u>	<u>RÖGAR KAPAKLARI</u> <u>MAZGALLAR</u>	<u>BASAMAK VE ZEMİN</u> <u>KAPLAMALARI</u>
		

Şekil 1.14 CTP ürünleri (Kompozit Hakkında...,bt)

Cam Elyaf Katkılı Plastik Beton kalıplar	Bahçe istinat duvar kalıbı ve babası Turan Haznedaroğlu Kiptaş konutları	Cam takviyeli Polyester (CTP) ile Yağmur olukları saçak ucu kaplaması
		
Cam takviyeli Polyester (CTP) ile Yağmur olukları saçak ucu kaplaması (renk çeşitleri isteğe bağlıdır.) Astaş İnşaat	Cam takviyeli Polyester (CTP) ile Dış cephe elemanları kalıpları, kapı süvesi, pencere süvesi, denizlik, köşe kitabe, v.s. kalıpları (Resim; Kastel İnşaat A.Ş.)	Markiz altı CTP kaplama
		
Cam takviyeli Polyester (CTP) ile yapılmış pencere nüveleri	Kolon, baba, üst küpeşte, alt küpeşte, demir korkuluklar v.s. (Enka Kontre Sosyal Tesisleri)	Cam takviyeli Polyester (CTP) ile 250 lt. 500 lt. 750 lt. den 20 000 lt. ye kadar depolar
		
Köşe küvet	Duş teknesi	Küvet
		

Şekil 1.15 CTP inşaat ürünleri (POLİFORM, bt)

Cam elyaf katkılı plastik beton kalıplar inşaatlarda uygulanması ile çok sayıda fayda ve kolaylıklar sağlarlar. Bakım yapılmaksızın 70 defa kullanılabilirler. Yapı maliyeti ucuzdur. Kalıpların bakım masrafı düşüktür. Cam elyafından üretildikleri için atmosfer şartlarından etkilenmezler. Her beton uygulamasından sonra tazyikli su ile yıkanarak uygulamaya sokulurlar. Beton uygulamasından 3 gün sonra sökülebilir. Yaz kış her mevsimde inşaat yapımına olanak sağlarlar. Kalıpların yüzeyi düzgün ve tek düze olduğu için kalıp sökümünden sonra beton yüzey düzgün ve parlaktır. Dolayısıyla ayrıca sıva gerektirmez. (POLİFORM, bt)

Aynı zamanda Şekil 1.16'deki rüzgar türbin kanatları, cam takviyeli polyester malzemesinden yapılmıştır. Diğer CTP uygulamaları Şekil 1.17'de gösterilmiştir.



Şekil 1.16 Rüzgar türbinleri (Marsh, 2001)



Şekil 1.17 CTP uygulamaları (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Suya dayanıklılığının kanıtı tekne üretiminde temel malzeme olmasıdır. (Zenger Ltd. Şti, 2008) (Şekil 1.18)



Şekil 1.18 CTP Tekne Örneği (Uyar Marina, 2007)

Fiberglas Tekne: Fiberglas malzemenin yaygınlığı, bu malzemenin üstünlüğünden veya en iyi yat yapım malzemesi olmasından değil, seri imalata imkan tanıyan tek malzeme olmasındandır. Büyük ve orta ölçekte tersanelerin ulaştıkları yıllık üretim ve satış rakamları, kalıp teknolojileri ile diğer malzemelere oranla çok kısa sürede tekne imalatına imkan tanıyan fiberglas sayesinde mümkündür. Bu nedenle zamanımızda ahşap ve metal ya küçük işletmelerin ya da seri üretim yerine müşteriye özel üretim yapan tersanelerin tercihleridir. Şu an dünyada ilk yapılmış fiberglas tekneler 50 yaş civarında olup, hala sağlam ve güvenilir durumdadırlar. (Suna-yatçılık, 2007)

Polyester reçineler: Polyester reçineler koyu kıvamlı ve zor akan, neredeyse renksiz sıvılardır. İki bileşenli bir reçine olup, sertleşmesi için katalizatör etkisi gösteren MEKP (Metiletilketonperoksit) adıyla bilinen yanıcı malzeme, (% 1-2 oranında) organik peroksitin ilavesi gerekir. Sertleşme süresi ortam sıcaklığına bağlı olup, sertleştirici de denilen katalizatörlerin karışımdaki payına bağlıdır. Reaksiyonu yavaşlatmak gerektiğinde inhibitör adı verilen katkıları kullanılır. Reçinenin normal oda sıcaklığında sertleşebilmesi için üçüncü bir malzemeye ihtiyaç vardır. (Suna-yatçılık, 2007)

Suna-yatçılık (2007)'e göre; hızlandırıcıyı polyestere karıştırmak dikkat ister, karışım sırasında oluşan kimyasal reaksiyon bir patlama oluşturabilmektedir. Polyester reçinelerinin temel maddesi Styrol hafif zehirleyici özellikte ve reaksiyon sırasında buharlaşan bir malzemedir. Polyester reçineleri soğuk ve rutubete

duyarlıdır. Kaliteli tekneler üretmek için yapım işlemi ve teknenin sertleşmesi süresince atölyede sıcaklık ve rutubetin kontrol altında tutulması gerekir.

Sertleştirici, hızlandırıcı ve yavaşlatıcılar: Sertleştirici unutulduğu takdirde reçine hiç bir zaman tam sertleşmeyecek, tam mukavemetine ulaşmayacak ve su geçirmezlik özelliği kaybolacaktır. Hızlandırıcılar ise atölye sıcaklığı olan 15-250 °C derecelerde reaksiyonun başlaması için gereklidir, reaksiyon bir kere başladıktan sonra ısı üreterek tam sertleşme sağlanan kadar devam eder. Aynı şekilde yavaşlatıcı (inhibitör) ilavesiyle reaksiyon yeterli uygulama zamanını kazanmak için yavaşlatılabilir. (Suna-yatçılık, 2007)

1.1.5.2.1 Yeni CTP Uygulamaları

Yol Yaması



Şekil 1.19 Yol Yaması (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Yol veya kaldırımların üzerinde oluşan, çukurların kaplanmasında, onarım amaçlı SMC malzemeler kullanılmaktadır. (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Ön Gösterge Panel Taşıyıcı



Şekil 1.20 Panel Taşıyıcı (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

BMW araçlarının ön gösterge panel taşıyıcısı %20 Cam elyafı ihtiva eden, PP malzeme ile yapılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama ile elde edilen malzeme, düşük ağırlıkta, yük taşıma ve dayanıklılık özelliği ile ön plana çıkmaktadır. (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Koruyucu Tampon Malzemesi



Şekil 1.21 Tampon Malzemesi (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Yayaların, kaza anında, yaralanma riskini azaltan, araçların ön tampon kısmına takılan, 1 metre uzunluğunda, 1 kg ağırlığında Cam elyaf takviyeli PA koruyucu tampon malzemesi geliştirilmektedir. (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Pencere Profilleri



Şekil 1.22 Pencere Profili (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2005)

Pencere sistemlerinde, daha yüksek ısı izolasyonu sağlayan, saydam ve daha dar ebatlarda, CTP çerçeve sistemleri yeni bir ürün olarak pazara sunulmuştur. (Yeni CTP Uygulamaları, 2005)

1.1.5.3 Cam Sanayii Raporu

Cam elyaf sektörünün performansı aşağıdaki tablolarda aktarılmaktadır. (Tablo 1.7, Tablo 1.8, Tablo 1.9, Tablo 1.10)

Tablo: 1.7 Sektörde kurulu kapasite durumu (CAM SANAYİİ RAPORU MMP Ön Raporu, EK 2D, bt)

Sektörde Kurulu Kapasite Durumu				Yıllar				Yıllık Artışlar (%)		
Ürün Grubu	Kapasite K.K.O.	Kapasite Birimi		1995	1996	1997	1998	1996	1997	1998
9 Cam Elyafı	Kapasite K.K.O.	Bin Ton %		16 100	16 91	23 95	26 97	--	43,8	13,0

Tablo: 1.8 Sektörde cam ürün alt grupları üretim miktarı (CAM SANAYİİ RAPORU MMP Ön Raporu, EK 2D, bt)

Üretim Miktarı (Bin Ton)				
Yıllar				
SN	Ürün Grubu	2000	2001	1999
1	Düz Cam	688	601	-9
2	Emprime/Telli Cam	64	61	-2
3	Cam Ambalaj	430	468	-6
4	Cam Ev Eşyası	325	296	-11
5	Cam Yünü	28	29	--
6	Cam Elyaf	29	25	0
7	Cam Mozaik	9	8	--
8	Emniyet Camları	35	34	4
9	Çift Cam	26	22	9
10	Cam Ayna	50	46	18
11	Diğerleri	28	23	--
	Toplam	1601	1511	-8

Tablo: 1.9 Maliyet payları durumu (CAM SANAYİİ RAPORU MMP Ön Raporu, EK 2D, bt)

Maliyetlerin Toplam İçindeki Payı (1998)				
Toplam Giderler İçindeki Payı %				
Üretim Girdileri	Düzcam	Cam Ambalaj	Cam Ev Eşya.	Cam Elyaf
Hammadde	26	25	17	33
Enerji	10	9	6	11
İşçilik	15	22	22	22
Diğer	48	44	55	34

Tablo: 1.10 Sektörde ürün ithalatı (CAM SANAYİİ RAPORU MMP Ön Raporu, EK 2D, bt)

Ürün İthalatı (Miktar: Ton)		
Yıllar		
Ürün Grubu	2000	2001
1 Düz Cam	116000	107000
2 Emprime/Telli Cam	679	630
3 Cam Ambalaj	13773	10000
4 Cam Ev Eşyası	23522	22500
5 Cam Yünü	7577	7400
6 Cam Elyaf	473	460
7 Cam Mozaik	1872	1750
8 Emniyet Camları	4297	4050
9 Çift Cam	1188	1100
10 Cam Ayna	1399	1250
11 Diğerleri	12393	12650
Toplam	183106	168796

Sektörde çalışma standartları ve işgücü maliyeti Türkiye ortalamasının üzerindedir. Ancak verimliliği ve maliyetleri kontrol etme zorunluluğu, büyümeye rağmen istihdamda son yıllarda daralmaya neden olmuştur. (CAM SANAYİ RAPORU MMP Ön Raporu, EK 2D, bt)

1.1.6 Üretim Yöntemleri

Akdoğan Eker (2008) çalışmasında görüldüğü gibi üretim yöntemleri şöyledir:

ACIK KALIPLAMA **YÖNTEMLERİ**

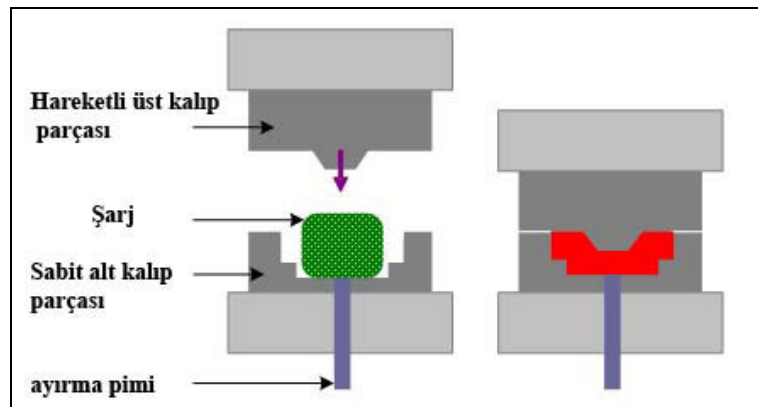
El Yatırma Yöntemi
Püskürtme Yöntemi
Elyaf Sarma Yöntemi
Vakum Torbası Yöntemi
Otoklav Yöntemi

KAPALI KALIPLAMA **YÖNTEMLERİ**

Reçine Transfer Yöntemi (RTM)
Pultrüzyon Yöntemi
Ekstrüzyonla Kalıplama Yöntemi
Hazır Kalıplama Yöntemleri
-BMC
-SMC
Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi
Savurma Kalıplama Yöntemi

Basınçlı Kalıplama (Compression Molding, SMC, BMC) Yöntemi:

Ürün boyutuna göre 3-6 dakikalık bir kalıplama süresi sağlayan hızlı, seri bir kalıplama metodudur. Önceden hazırlanmış, pestil veya hamur haldeki cam elyafı – polyester– dolgu ve katkı malzemeleri karışımının 150- 170 °C sıcaklıkta, 50-120 kgf/cm² basınç altında çelik kalıplarda şekillendirilmesi metodudur. (Akdoğan Eker, 2008)



Şekil 1.23 Basınçlı kalıplama (Akdoğan Eker, 2008)

Akdoğan Eker (2008) belirttiği gibi, karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması, büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır.

SMC Kompozitler (Hazır kalıplama pestili / SMC (sheet moulding composites))

Akdoğan Eker (2008)'e göre SMC ve BMC farkı şu şekildedir:

SMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. SMC, BMC'den farklı olarak pestil şeklinde hazırlanmaktadır. SMC daha çok otomotiv sektöründe tercih edilir.

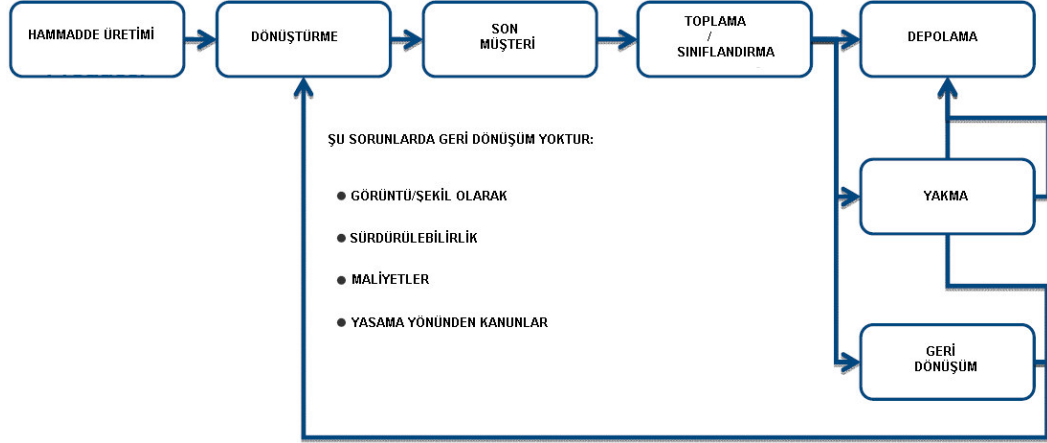
BMC (bulk moulding composites)

BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir. (Akdoğan Eker, 2008)

BÖLÜM İKİ

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER GERİ DÖNÜŞÜMÜ

2.1 Plastik Atıkların Geri Dönüşümü

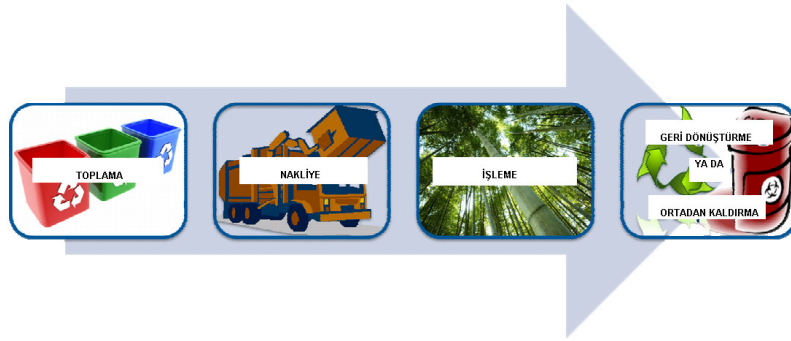


Şekil 2.1 Plastik atık geri dönüşümü (European Acquis for The Plastics Industry, 2008)

Plastik malzeme henüz yaşadığımız çevre ile tam olarak uyumu sağlayamamıştır. Toprakta çözülmesi için çok uzun zamanlara ihtiyaç duyan plastik malzeme bazı durumlarda zehirleyici veya başka şekillerde çevreye zarar verici olabilir. Bu noktada da devreye plastik malzemenin diğer çok önemli bir özelliği, “geri dönüştürülüp tekrar kullanılabilirlik özelliği” girer. (Akyüz, 2001)

Akyüz (2001)’e göre, yaşadığımız çevreyi, dünyamızı ve enerji kaynaklarımızı korumak, hem de üstün özelliklerinden faydalanmaya devam edebilmek için plastik malzemenin geri dönüşümünü sağlamak gerekli ve önemli bir iştir. Geri dönüştürülen malzemenin kalitesi de bu noktada oldukça önemlidir.

2.2 Atık Yönetimi



Şekil 2.2 Atıkların geri dönüşümü (European Acquis for The Plastics Industry, 2008)

Plastik malzemenin idaresi plastiğin toplanmasını, ayrıştırılmasını, paketlenmesini, depolanmasını ve pazara veya gerekli yerlere taşınmasını kapsamaktadır. (Akyüz, 2001)

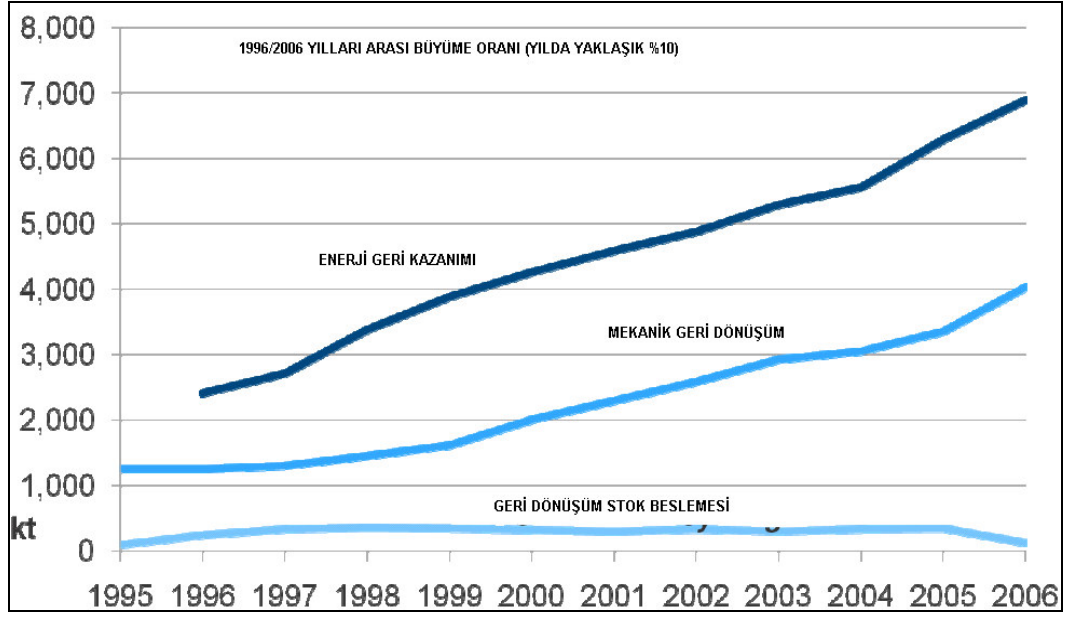
European Acquis for The Plastics Industry, (2008) kaynağında belirtildiği üzere, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımında büyüme önemli ölçüde devam etmektedir.

Akyüz, (2001) geri dönüşümlü malzemenin toplanması ve ürün haline getirilmesi arasındaki ilişkiyi, geri dönüşüm işinin başarısını veya başarısızlığını belirleyen faktör olarak tanımlar. Yüksek kaliteli son ürün imal etmek için hammadde olarak kullanılacak toplanmış malzeme, hem hiç kullanılmamış olan eş değerleriyle rekabet edebilecek kadar yüksek kaliteli olmalı, hem de aynı şekilde uygun maliyetli olması düşünülmelidir, der.

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008) kompozitlerin, Avrupa’da her yıl yaklaşık 8-9 milyon ton olarak üretilmekte olduğunu, Avrupa Birliği’nin (AB) gelecekte kompozit imha etmeyi bir sorun olarak tanıdığını belirtirler. Strong ve Mutel, (2005) ise yeni Avrupa atık direktiflerinde geleneksel depolama ve yakma yöntemleriyle bertarafa yönlendirildiğini, kompozit atıkları depolama, artık çoğu AB üyesinde yasak olduğunu söylerler.

Akyüz, (2001) plastik malzemenin, geri dönüşümü yapılırken depolanmayı da gerektiğini aktarmaktadır. Bunun için malzeme idarecilerinin malzemeyi depolamak için yeteri kadar yer ayırmaları önemlidir, der.

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008) yasaların, ekonomik tedbirlerin, vergi kullanımı ile birlikte gerçekleşmesinin, geri dönüşümü teşvik edeceği tezini savunurlar.



Şekil 2.3 Plastik geri dönüşümü (European Acquis for The Plastics Industry, 2008)

Avrupa ve Mali Yardım Birliği, EuPC INPA sorumluluğunda hazırlanan belgeden alınan, plastiklerin geri dönüşüm tablosu Şekil 2.3'te gösterilmektedir.

Özetle Akyüz, (2001) dediği gibi, plastiklerin hacim/ağırlık oranları yüksek olduğundan geri dönüşümlü plastikleri uygun şekilde depolamak ve taşımak için yoğunlaştırılmaları gerekir. Bazı talep birimleri plastiği toz vaziyette isterken bazıları da granül veya başka şekillerde isteyebilirler. Malzeme idarecilerinin plastiği isteyen her birimin makine-malzeme özelliklerini bilmesi ve malzemeyi o şekilde hazırlaması gerekir.

Hurda Kompozit Fiyatları

Pickering (bt)'e göre, polimer değeri yüksek ama geri kazanımı zordur.

Polimer enerji değeri 30£ /ton

Filler (Dolgu) değeri 30£/ton

Cam elyafın değeri 1,000£/ ton

Karbon elyaf değeri 10.000£ / tondur.

Ana Hatlarıyla Cam Elyaf Kompozitlerin İşlenme Ekonomisi

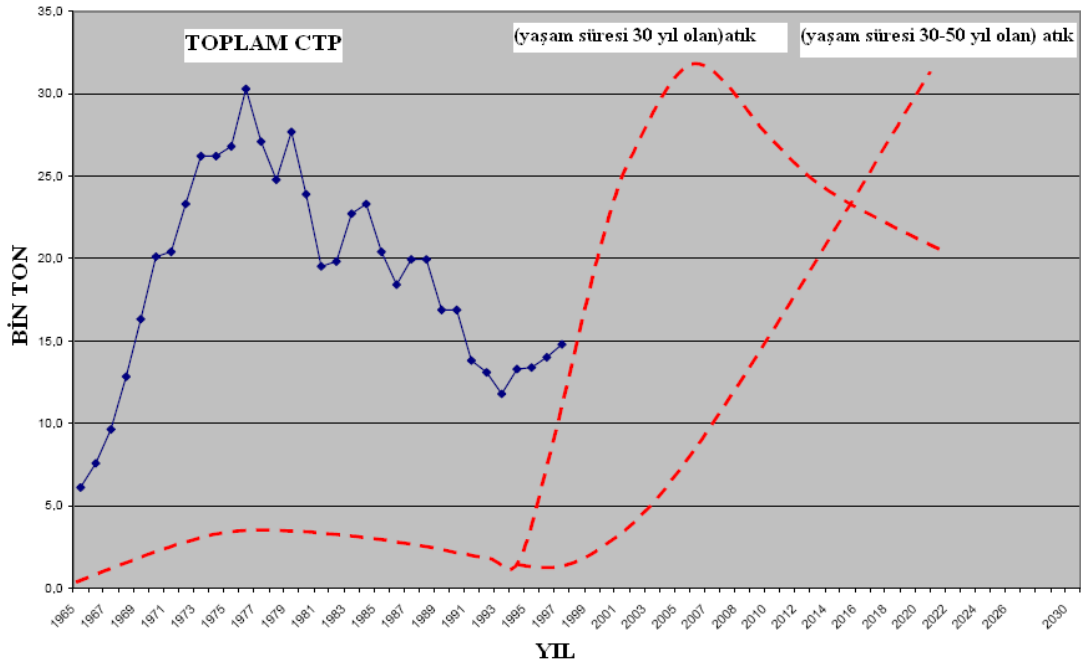
Pickering (b.t) bahsedildiği gibi,

5.000 ton / yıl Sermayesi 3.75 milyon £

Yıllık ücretleri: 1,6 milyon £ ‘dur.

Yıllık Gelir: 1,3 milyon £

Ne kâr, ne zarar edilen akış: 10.000 ton / yıl (yılda 10.000 tondur)



Şekil 2.4 Cam elyaf polyester ürünleri ve biriken atık tutarının yaşam uzunluğuna bağlı olarak gösterilmesi (VAMP 18 projesi, 1999) (HEDLUND-ÅSTRÖM , 2005)

Pickering, (2006) çalışmasında bahsettiği gibi, Avrupa kompozit sanayisi, kompozitlerden çıkan atığı kontrol altına almak ve geri dönüşüm aktivitelerini teşvik etmek için ‘Avrupa Kompozitler Geri Dönüşüm Kavramı’yla karşılık vermektedir.

GPRMC, CTP geri dönüştürme programının, Avrupa’da 2015’e kadar oluşturulması tahmin edilen 300 Kton tahmini CTP atığıyla endüstrinin başa çıkabileceğini sağlayacağına inanmaktadır. Yaşam ömrü sona eren atıklar o tarihe kadar 251 Kton’luk bir kısmı ve üretim atıkları da 53 Kton’luk bir kısmı oluşturmaktadır. Tek başına otomotiv endüstrisinin 2015’e kadar CTP atıklarına 71 Kton’luk bir katkı yapması beklenmektedir. Şu anda, Avrupa’da hemen hemen 990 Kton’luk CTP tüketilmekte ve bunun çok az bir kısmı geri dönüştürülmektedir. (Reinforced plastics recycling, 2003)

Young Yoon, (2007) CTP atıkları ile çimento ve cam fiberli beton uygulamaları görüldüğünü söyler.

European Composites Industry Association-EuCIA, (bt) kaynağına göre;

Kompozit atığı >>>> çimento için %30 enerji + %70 ham madde

= %100 geri kazanım = %100 faydaki uygulamadan ibarettir.

Çimento ocaklarında camla güçlendirilmiş plastik atıklarının kullanımı %70 malzeme geri dönüşümü, çimentoyla karışmış %30 enerji = %100 yararlı uygulama anlamına gelir ve “geri dönüşüm” olarak sınıflandırılmalıdır.

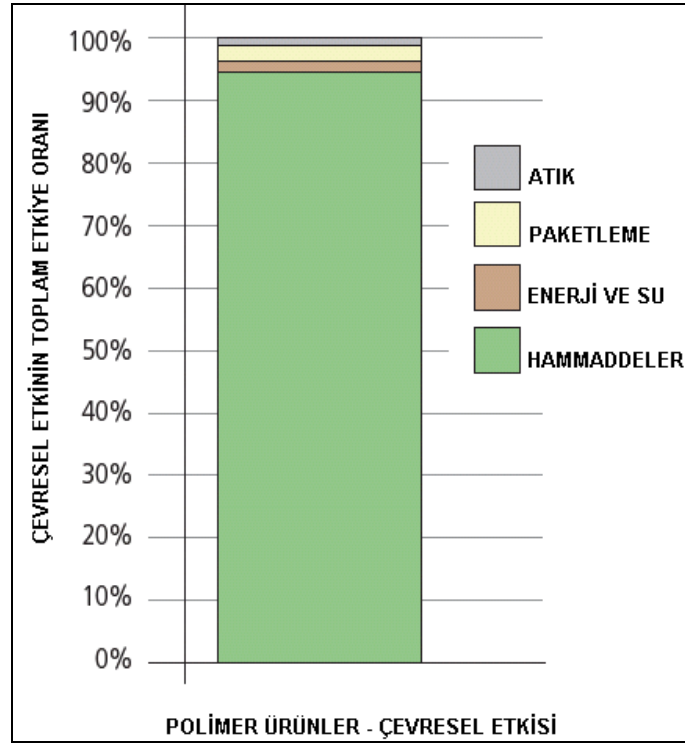
2.2.1 Atık Hiyerarşisi:

Atık hiyerarşisine göre, tercih sırasına göre CTP atık yönetimi için seçenekler; atıkların en aza indirilmesi, yeniden kullanımı, geri dönüşümü, enerji geri kazanımı ile yakma / kompostlama ve son enerji geri kazanımı ile yakma / depolamadır. Bu seçeneklerden en çok arzu edileni, bu atıkların, ortaya çıkışını ya da meydana gelişini azaltmaktır. (Recycling, Network group for composites in construction, bt)

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008) en çok kullanılan lif takviyeli polimer kompozit malzemelerin, daha uzun yaşam döngüleri, yüksek yorulma mukavemeti, yüksek korozyon direnci nedeniyle otomotiv, inşaat-gemi sanayi ve havacılıkta kullanılması giderek artmakta olduğunu, bunların yaygın kullanımını sağlamak için yüksek maliyet gerektiğini, fakat geri dönüşümünde belirsizlik gibi engelleri olduğunu söylerler.

Reinforced plastics recycling, (2003) kompozitlerin geri dönüşümündeki sorunun, matrisin takviye elyaflardan ayrılmasının nasıl verimli ve hangi maliyette etkin olacağıdır, der.

Polimer sektör raporu BeAware-Bre (bt), kaynağına göre-basitleştirilmiş çevre toplam sonuçları tablosu Şekil 2.5'teki gibidir.



Şekil 2.5 Polimer ürünler toplam çevre sonuçları (BeAware-Bre, bt)

Gruber, (1994) çalışmasında 1993 yılında, Astoria’da yaklaşık 176.200 £’luk katı atık bertaraf edildiğini, bunun da toplamda yaklaşık yüzde 60’ lık CTP atığı olduğunu söyler. Astoria, üretilen CTP atık miktarını şu iki temel nedenden dolayı azaltmak istemektedir.

1. Bertaraf Maliyetleri: Gruber (1994)’e göre; 1993 yılında, Astoria’daki depolama bertarafına 11.000\$ üzerinde para harcanmıştır. Astoria bu depolama bertaraf maliyetinin gelecekte artarak devam edeceğini, tahmin etmiştir.

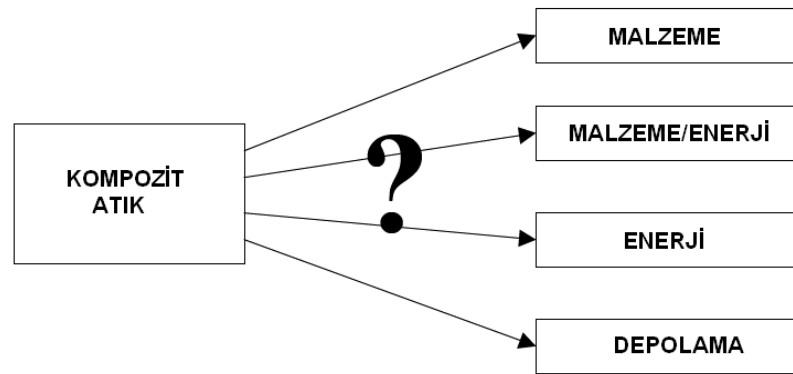
2. Sınırlı Depolama Alanı. Yerel depolama alanının sınırlı artması, devletin imha için katı atıklarını Astoria’ya göndermesine neden olmuştur. (Gruber, 1994)

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008) geri dönüşüm için ekonomik motivasyonun, özellikle depolamanın ucuz olmasını gerektirdiğini belirtirler.

Recycling, Network group for composites in construction, (bt) İngiltere için CTP atığının en yaygın bertaraf yönteminin, depolama yapılmasıdır, der.

2.2.2 Atık Minimizasyonu:

Üretim sürecini gözden geçirerek daha az atık üretimi olan sonuçları yöntem belirlemek mümkün olabilir. Ayrıca bu yöntem, uygun maliyet tasarrufu yapılabilme olarak tanımlanabilir. Fransa, Almanya, İtalya ve Hollanda gibi ülkelerdeki mevcut CTP pilot geri dönüşüm tesisleri kompozit geri dönüşümünün mümkün olduğunu kanıtladı. Ancak, pazarların geri dönüştürülme üretimi için tespit edilmesi gerekir. (Recycling, Network group for composites in construction, bt)



Şekil 2.6 Kompozit malzeme son ömrünü iyileştirme seçenekleri (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

Özet olarak, malzeme idarecileri geri dönüşümlü malzemenin kaliteli olmasını ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak istiyorlarsa “kim tarafından ne istendiğini, ne için ve nasıl istendiğini” bilmeli, malzemeyi de ilk toplandığı andan itibaren mümkün olduğu kadar temiz tutmaya özen göstermelidir. (Akyüz, 2001)

2.3 Cam Takviyeli Polyester (CTP) Geri Dönüşümü

CTP sanayisinde başlıca önemli sorun, önümüzdeki yıllarda ne kadar üretim ve yaşamını tamamlayan atık olacağıdır. En son AB mevzuatına uymak içinde, CTP atık depolama ve yakmayı azaltmak önemlidir. (Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, 2008)

Strong ve Mutel (2005)’de geçen, Avrupa çevre ve düzenlemelerine göre; geri dönüşüm kompozit endüstrisinin en önemli sorunları arasında yer almaktadır. Önümüzdeki yıllardaki sorun, CTP sanayinde yaşam sonu gelen atıklarla başa çıkmak olacaktır.

Larsen (2009), yaşam sonu gelen CTP rüzgar türbin kanatları üzerine araştırma

yapmıştır. Larsen 2009'a göre, zorluklarına rağmen, CTP malzemesinden yapılmış rüzgar türbini kanatlarının geri dönüşümü, önemlidir: Çünkü kompozit kullanımı ve onun yaşam sonu atıkları büyük ölçüde artacaktır. Bu yüzden çeşitli girişimlerle bir çok çözüm bulunacağına inanmaktadır.

Katı atıklar tüm bu imalat yöntemlerince oluşturulmaktadır. Atık, tipik olarak aşırı püskürtme, kırpıntılar, veya uyumsuz parçalar halindedir. Şu anda, bu katı atık düzenli depolanmaktadır. (Bartholomew, 2004)

MnTAP tarafından yürütülen bir odak grubu CTP imalatçıları hurdalarında geri dönüşüme ilgi duyduklarını göstermiştir. CTP hurdası imalatçılara iki şekilde maliyet oluşturmaktadır: imha etme maliyetleri ve alternatif maliyetler. İmha etme maliyetleri, atık maliyeti konusu bahsedildiğinde, insanların geleneksel olarak düşündükleri şeydir. İmha etme maliyetleri taşıma ve çöp depolama alanını kapsar. Genellikle gözden kaçırılan hurda maliyeti, satılabilir bir ürün üretmek için kullanılabilecek olan ama atılan malzemelerin gölge maliyetidir. Kâr getirecek olan fırsat, hurdaların her defasında çöpe gidişinde kaybedilmektedir. (Bartholomew, 2004)

MnTAP atıkları ele almak için en iyi yol olarak atık azaltılmasını teşvik eder. Atık azaltılması hem imha etmeyi hem de gölge maliyeti düşürdüğü için, geri dönüşüm ekonomik olarak daha büyük bir geri ödemeye sahip olma eğilimindedir. CTP imalat sürecinde ortaya çıkan katı atıklar kurutulmuş polimer reçine ve fiber destekli malzemenin bir matrisidir. Kullanılan polimerlerin kimyasal yapısı, fiber ve CTP hurdalarının dolgu içeriği geri dönüşümü tipik termoplastik geri dönüşüme nazaran daha karmaşık bir hale getirmektedir. Bartholomew (2004), bütün bunlara ek olarak, en avantajlı CTP üretim teknolojisinin dahi, hala belirli bir miktar hurda ürettiğini söylemektedir.

Örnek olarak, cam fiberle güçlendirilmiş plastik konusunda uzman olan Alman bir geri dönüştürücü (GRP: glass fibre reinforced plastic, Cam Elyaf Takviyeli Plastik) GRP parçalarını (gemi gövdesi gibi) geri dönüştürmek için mekanik ve kimyasal işleyişin bir kombinasyonunu kullanmaktadır; ancak, sadece yaklaşık %15'i sökülüp,

yeniden kullanılabilir ve GRP oldukça iyi durumda olmalıdır. Çok az sökme oranlarıyla, bu hala zor ve maliyetli bir prosedürdür. (Reinforced plastics recycling, 2003)

CTP hurda geri dönüşümü ile ilgili olan ilk problem, termoset reçinelerin kullanımıdır. Termoset reçineler, reçine moleküllerine çapraz olarak bağlı olan kimyasal bir reaksiyonla katıyı arıtan sıvılardır. Bu arıtma reaksiyonu devredilemezdir; pişirilmiş katı, termoplastiklerde olduğu gibi ısıtma yoluyla kendi orijinal sıvı haline dönmez. Termoplastiklerin tersine, CTP hurdaları eritilemez ve yoğrulamaz, çünkü bu genellikle plastik geri dönüşümünde yapılmaktadır. Termosetleri termoplastiklerle kıyaslanmanın faydalı bir analojisi dondurulmuş bir suda yumurta pişirmeyle kıyaslamak olacaktır. Dondurulmuş su gibi, termoplastik bir malzeme eritilebilir ve yeniden dolgu, ancak pişirilmiş yumurta gibi ham durumuna geri döndürülemez. CTP dönüşümündeki karışıklık çıkaran ikinci faktör hurdanın dolgu ve fiber içeriğidir. Dolgular, bir parçayı üretmek için gerekli olan reçine miktarını azaltmak için, CTP reçinelerine ilave edilirler. Bu, maliyet ve stiren emisyonlarını düşürür. Dolgular ayrıca ateşe dayanıklılığı geliştirmek veya görünümü etkilemek için de kullanılabilirler. Sağlamlığa katkıda bulunmak için kompozit ürünlerinde fiberler kullanılmaktadır. Bu fiberlerin fiziki özellikleri tamamlanmış parçanın sağlamlığını belirler. Sağlamlığa katkıda bulunan önemli fiber özelliklerinden ikisi fiber uzunluğu ve fiberlerdeki kırıklar ve talaşlar gibi yüzey kusurlarının eksikliğidir. Geri dönüşüm sistemi tarafından fiber uzunluğundaki herhangi bir değişiklik ya da yüzey kusurlarının oluşturulması geri dönüştürülen malzemenin değerini azaltacaktır. CTP için olan geri dönüşüm sistemi hurdanın fiber ve dolgu içeriğini düzeltmek ve yeniden kullanmak için tasarlanmak zorunda olacaktır. (Bartholomew, 2004)

Üçüncü olarak, Minnesota`da yapılan çoğu CTP`nin ana maliyetini azaltmak için oda sıcaklığı karışımını kullanmaktadır. Bu yöntemin kullanımı aşırı katalizör ve hurdada bulunan destekleyiciler için bir potansiyel oluşturur. CTP hurdalarının aşırı katalizör ve destekleyici içeriği bir geri dönüştürme sisteminde güvenlik ve kalite kontrol sorunlarına sebep olabilir. Bu, ciddi olarak mekanik geri dönüşümü etkiler. Dördüncü olarak, odak grubu katılımcıları, kendilerinin hurda geri dönüşümünü ele

almada tercih ettikleri yolun merkezileştirilmiş bir işleme tesisi olduğunu iddia etmişlerdir. Bir geri dönüşüm tesisini başarılı bir şekilde işletmek için gerekli olan ihtisaslaşmış beceriler dikkate alındığında, mantıklı olmasına karşın, bu, sürece önemli ulaşım ve lojistik problemleri eklemektedir. En sonuncu olarak ise, CTP hurda dönüşümüne sunulan hem teknik hem de lojistik zorlukları çözen herhangi bir sistem, işleme maliyetini karşılayacak ve alternatif atık boşaltma seçenekleriyle rekabet edecek değerde geri dönüştürülmüş malzeme için pazar kullanımına sahip olmalıdır. Potansiyel olarak çeşitli son ürünler, CTP geri dönüşümüne ilgi duyan farklı gruplarca değerlendirilmiştir, ancak potansiyel kullanımların büyük bir kısmı düşük değerde olup, sabit düşük maliyet ve yüksek kalitede ürünlerle rekabet etmek zorunda kalacaklardır. (Bartholomew, 2004)

2.4 Atık Değerlendirme

Gruber (1994)' göre, her atık akışı kompozisyonu belirlenerek, hammaddede kullanılan ilgili değerleri alınmış ürünler de bu devrede ölçülmüştür. 1994 yaz döneminde, Winona Devlet Üniversitesi Kompozit Malzeme Mühendisliği öğrencisi stajyer Nate Gruber'in yaptığı atık değerlendirmeye göre, (Stajyer Firma: Astoria Endüstriler; Jackson) Minnesota'da yaptığı sonuçlar Tablo 2.1'de ve Tablo 2.2'de listelenmiştir.

Tablo 2.1 CTP atık kompozisyonu (Gruber, 1994)

CTP ATIK KOMPOZİSYONU

BİLEŞEN MALZEME	ATIK KOMPOZİSYONU (YÜZDESEL ORAN)		
	Over-spray ATIK ¹	KIRPILAN ATIKLAR ¹	ÖGÜTÜLEN / KESİLEN ATIK ¹
REÇİNE	40	45	43
DOLGU	30	33	32
CAM ELYAFI	20	22	21
MUKAVVA KARTON	10		
Particleboard			2
JELKOT			2

¹YÜZDE AĞIRLIK

Tablo 2.2 CTP atık yüzdesi (Gruber, 1994)

FRP Atık yüzdesi - Kullanılan Toplam Hammadde ve Atık Oluşumu Bakımından

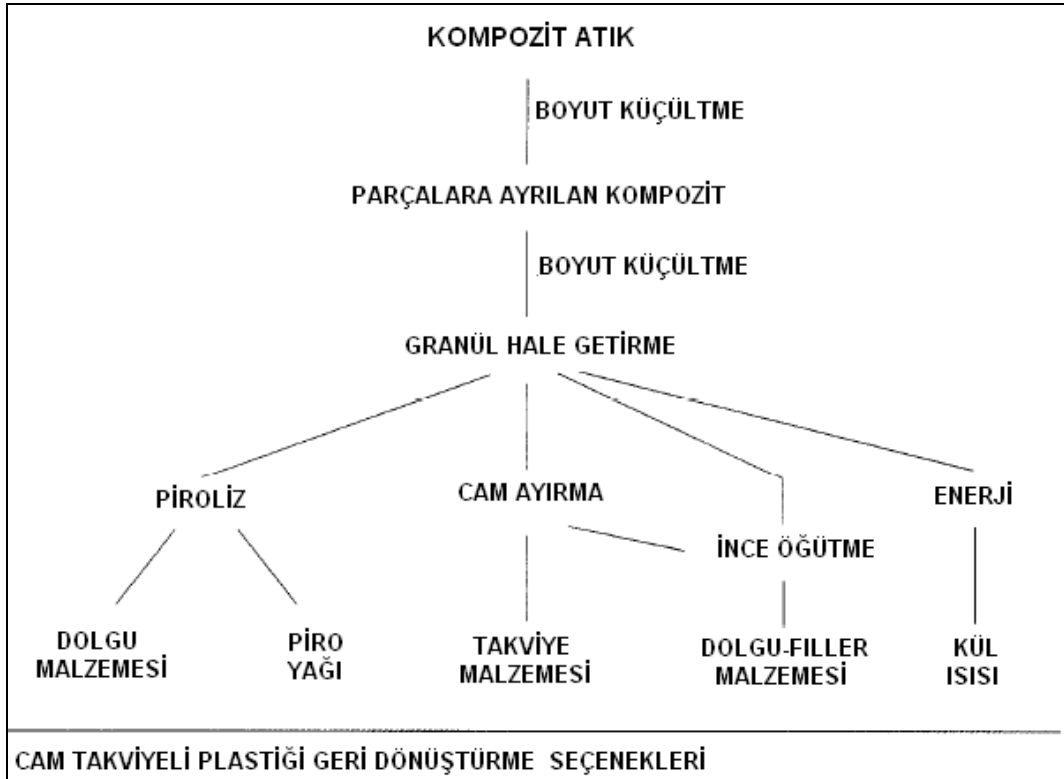
ATIK TÜRÜ	TOPLAM KULLANILAN HAMMADDE MİKTASI %Sİ	MEYDANA GELEN CTP ATIK %Sİ
OVER-SPRAY ATIK	7	27
KIRPILAN ATIK	2.5	10
ÖĞÜTÜLEN / KESİLEN ATIK	15.8	63

YÜZDE AĞIRLIK

2.5 Geri Dönüşüm Teknikleri

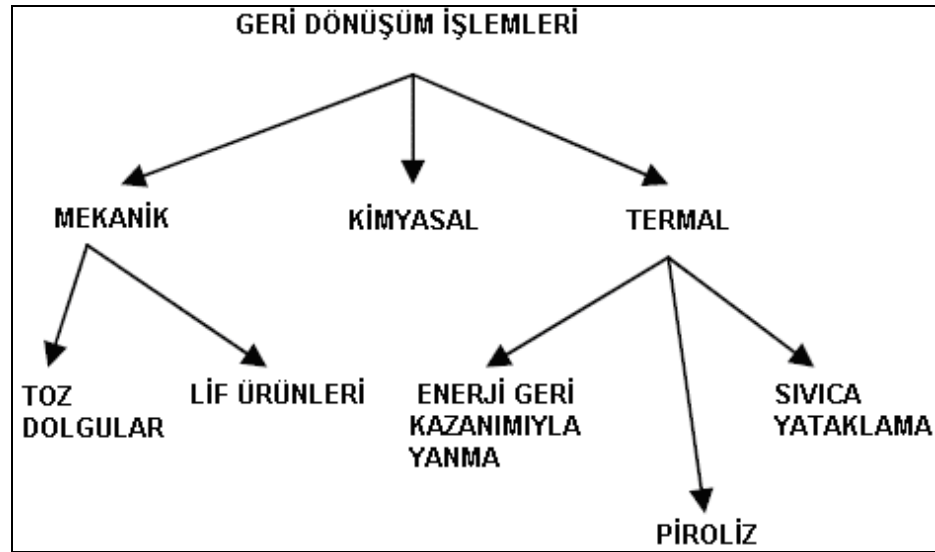
Dört temel sınıf, geri dönüşüm literatüründe ele alınırsa: mekanik, yakma, termal ve kimyasal geri dönüşümdür. (Bartholomew, 2004)

Bu geri dönüşüm teknikleri Şekil 2.7' de özetlenmiştir.



Şekil 2.7 Cam takviyeli plastiği geri dönüştürme seçenekleri (Marsh, 2001)

Geri dönüşüm işlemleri temel olarak 3 kategoriye ayrılır: (Şekil 2.8)



Şekil 2.8 Termoset kompozitlerde geri dönüşüm teknikleri (Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, 2008)

2.5.1 Mekanik Geri Dönüşüm:

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008)'e göre, en yaygın geri dönüşüm tekniği mekanik işlemlere dayanmaktadır. İlk adım, hurda bileşenlerinin boyutunu azaltmaktır. Burada yavaş kesme hızında ve ezme değirmeni kullanılarak boyutu 50-100 mm parçalar halinde malzeme parçalanabilir.

Bartholomew, (2004)'e göre ise bu yöntem, yeni bir üründe toz malzemesinin sonraki kullanımıyla hurda CTP malzemesinin parçalanması ve öğütlenmesini içerir. Mekanik geri dönüşümdeki önceki girişimler iki ölçü sınıfına odaklanmıştır. Birinci ölçü sınıfı 1 inç kare için ¼ olan iri taneli talaşlardır. Bu talaşlar yeni bir plastik üründe –mesela poliüretan köpük tahtası gibi- dolgu ve/veya yapısal genişleticiler olarak kullanılmaktadır. İkinci ölçü sınıfı, 200 mikron ya da 75 µm den daha az olan ve parçanın reçine muhtevasını azaltacak olan doldurucu bir materyal olarak kullanılabilecek olan, ince bir toz ürünüdür. Bazı CTP imalatçıları bu amaçla hali hazırda kalsiyum karbonat gibi mineral dolgular kullanmaktadırlar.

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008) kompozitin küçük parçaları, sonra çekiç değirmen veya diğer yüksek hızlı değirmen tarafından 10 mm'den küçük 50µm 'den az boyutta ince toz haline getirildiğini söylerler. Son durumda, siklon ve eleklerde

parçacıkların kendi boyutuna göre sınıflandırılmasını içerir. Genellikle ince ayrılmış parçalar orijinal kompozite göre yüksek oranda dolgu ve polimer içermesine göre sınıflandırılır. Kaba parçalara ayrılmış yüksek lif içeriğe sahip olma eğiliminde olanlar Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Geri dönüşüm kademeleri (Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, 2008)

ELYAF UZUNLUĞU (mm)	<0.25	0.25–3	3–15	3–20
CAM İÇERİK (%)	35	45	45	45
KÜTLE YOĞUNLUK (kg/m ³)	670	460	170	400

Geri dönüşümlü kompozit malzemelerin dolgu olarak kullanılması kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini azaltır. Bu teknik, mekanik boyut küçültme ve yeniden bir matris dolguya dayalı olması ile yeni kompozit yapımı ürünlerin kullanılmasına dayanır. Bu ince toz formu, kalsiyum karbonat dolgu yerine kullanıldığında yeni bileşik kalıplamada ya da tabaka kalıplama bileşeninde %10’dan az olarak mekanik özelliklerinde önemli bir azalma gösterir. Ancak bu çok ince parçacıkların, kilo başına en az %10 miktarda kullanımı ile belki de özelliklerini daha az etkileyebilir ve parçaların özelliklerini iyileştirebilir (geliştirebilir) tahmininde bulunulabilir. (Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, 2008)

Bartholomew, (2004), mekanik geri dönüşümün daha basit ve teknik olarak kanıtlanmış yöntemlerden biri olduğunu, ancak dezavantajları olduğunu belirtir. Bunlar, mekanik geri dönüşümle ilgili güvenlik hasarları ve düşük değerde son ürün gibi dezavantajlardır. Güvenlik CTP hurdasını öğütme esnasında ciddi bir endişedir ve öncelikli güvenlik konusu ateştir. Herhangi bir malzemeyi öğütme havaya maruz kalan yüzey bölgesini arttırır. CTP hurdası öğütülürken, patlayıcı bir hal olmasa bile, daha yanıcı bir hale gelebilir. Bu probleme oda sıcaklığında ısıtılan CTP’nin aşırı katalizör içermesi de eklenebilir. Öğütme işleminde açığa çıkarılan bu katalizör ısı oluşturan ve potansiyel olarak yangın çıkaran yani salınan polimer yüzeyle

reaksiyona geçebilir. CTP hurda öğütme sistemi, bu güvenlik sorunlarını karşılayacak şekilde tasarlanmış olmayı gerektirir.

REACT konsorsiyumu, HEBO ve KEMA yoluyla, “hedef ölçü için uygun” azaltma için melez bir parçalayıcıyı tasarlamış, inşa etmiş ve test etmiştir. Parçalayıcı saatte 2,5 ton`luk bir kapasiteye sahiptir ve CTP`yi fiberlerin iç kısmına minimum hasarı vererek 15-25 mm`ye kadar düşürür. Bu, fiber yapısının dışında reçineyi döverek yapılmıştır. Öğütme esnasında tehlikeli durumlardan kaçınmak için, C-it tarafından değişken organik bileşkerler (VOC) için elektronik bir sensör geliştirilmiştir. (Larsen, 2009)

Bartholomew, (2004) mekanik geri dönüşümün ikinci probleminin, son ürünlerin düşük değerde olmasını gösterir. İri taneli talaşlar cam fiberleri gibi ham yapısal güçlendirici materyallerle rekabet etmek zorunda kalacaklardır. Geri kazanılmış materyal ham materyalden daha ucuz olsa da, kuşkusuz bu materyalin güçlendirici olarak daha az değeri olacaktır. Ayrıca, geri kazanılmış materyalin sağlamlık özellikleri işlenmemiş materyallere kıyasla çok daha fazla değişkenliğe sahip olacağını ve bunun da onların değerlerini imalatçılara karşı azaltacağını ekler.

Larsen, (2009) parçalanmış CTP atığını yeniden kullanmadaki sorunlardan birisi yeni reçineli fiberleri birleştirmek olduğunu, çünkü parçalanmış fiberlerin genelde birleştirmeyi zorlaştıran reçine kalıntılarına sahipliğini belirtir .

200 mikrondan daha ince olan toz CTP`si mineral dolgularla rekabet etmek zorunda kalacaktır. Bu daha ince kategorideki geri kazanılmış ürünün asıl dezavantajı toz materyalinin tutarsız kimyasal özellikleridir. Özellikle, iyi toz CTP ürünü değişen miktarlarda katalizör içerebilir. Bu, madde yapılarından etkilenen (yani karıştırma tankındaki zamanından önce/prematüre iyileştirme/arıtma (kür) reçinesi gibi) reçine karışımına eklenecekse, zorluklara yol açacaktır. İlave olarak, mineral dolgular geri kazanılmış bir dolgu sağlamak için –imkansız olsa bile- zor olacak olan diğer iyi bir şekilde kontrol edilen ve anlaşılan özellikler ve geç alev alıcı olma özelliği sağlayabilirler. Mineral dolgular ayrıca kalite kontrollerini oluşturup, çok düşük oranda CTP imalat maliyetini telafi edebilirler. İmalatçıların (kendi) ürünlerine geri

kazanılmış CTP doldurucuları ekleme riskini -bu iş olan teşvikin çok az olduğu durumlarda- düşünmeye istekli olmaları olası değildir. (Bartholomew, 2004)

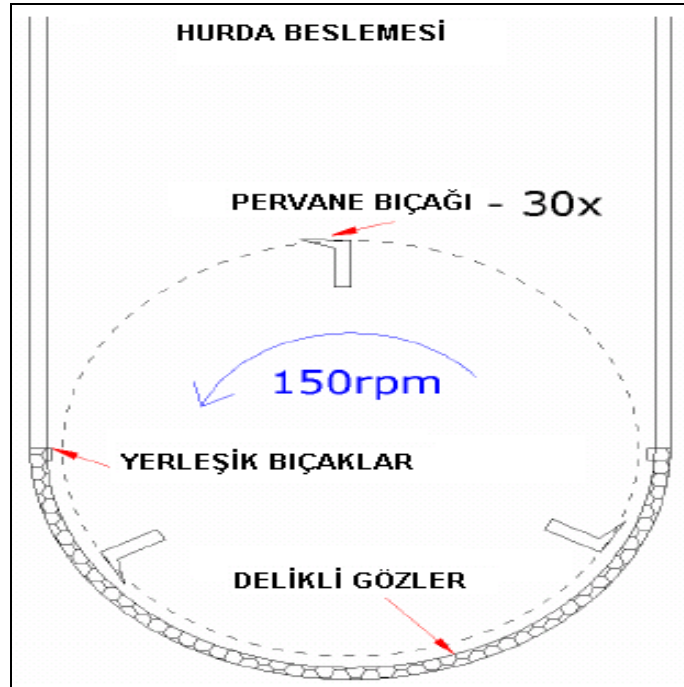
Bartholomew (2004), mekanik olarak işlenmiş olan CTP hurdasının ekonomik olarak kullanılabileceği bazı özel durumlar olabileceğini söylemektedir. Genel olarak, mekanik olarak işlenmiş olan CTP hurdasının son kullanımı dikkate alındığında aşağıdaki soruların sorulmasını ister:

- 1- Hurda güvenli bir tarzda işlenebilir mi?
- 2- Geri kazanılmış materyali tüketme hedefli üretim işlemi toz CTP hurdasının fiziki ve kimyasal özelliği tolere edebilir mi?
- 3- Geri kazanılmış materyali işleme ve çevirme maliyeti onun yerine koymaya niyetlendiğimiz materyalin maliyetini önemli ölçüde düşürebilir mi?

Bu sorulardan ikisinin cevabı “evet” olup, bir ürün ve işlem tanımlanabilirse, o zaman mekanik CTP hurda dönüşümü başarılı olma konusunda çok daha fazla şansa sahiptirler. (Bartholomew, 2004)

Pickering, (2006) mekanik geri dönüştürme işlemlerinin, nispeten temiz ve kirletilmemiş olan hurda kompozit materyali için uygunluğunu belirtir. Geliştirilen teknolojiler toz ve ipliksi geri kazanılmış ürünler üretmiştir, ki bunlar tekrar kullanımlar açısından potansiyele sahiptirler. Bununla birlikte, toz geri kazanım ürünleri kendilerinin aslı olan termoset bileşkelerine geri dönmeleri açısından sınırlı bir potansiyele sahiptirler. Düşük yoğunlukta olmalarına karşın, işleme kolaylığı ve kullanıldıkları ürünlerdeki düşük mekanik özellikler açısından kullanımlarıyla ilgili başka dezavantajları da olduğunu ekler.

Granül Hale Getirme



Şekil 2.9 Granülasyon (Turner, Warrior ve Pickering, 2008)

Turner, Warrior ve Pickering, (2008)'e göre geri dönüşüm–granül hale getirme:

- **Önemli faktörler**

- Elyaf uzunluğu ve uzunluk dağıtımı
- Toz seviyeleri - Kullanılabilir malzeme seviyeleri
- Maliyet

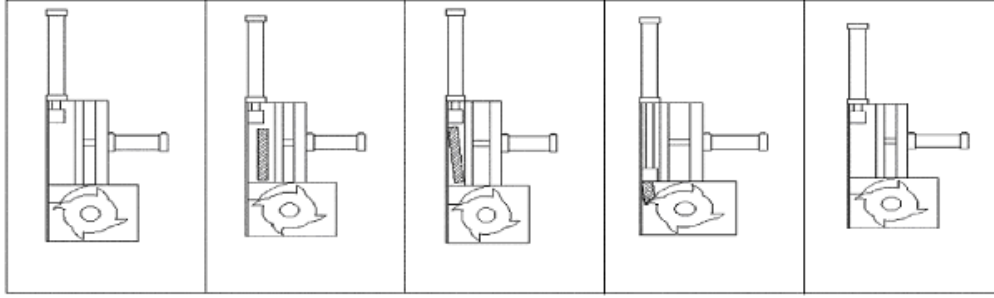
- **Çalışma planı**

- 6 farklı prepreglere değer biçmek (3 NCF, 3 Dokuma)
- Farklı granülatör stratejileri

- **Karakterizasyonu**

- Kalburdan-elekten geçirmeyle optik yöntemle gerçek elyaf uzunluğu ilk değerlendirmesi
- Final karakterizasyonu belirlenir.

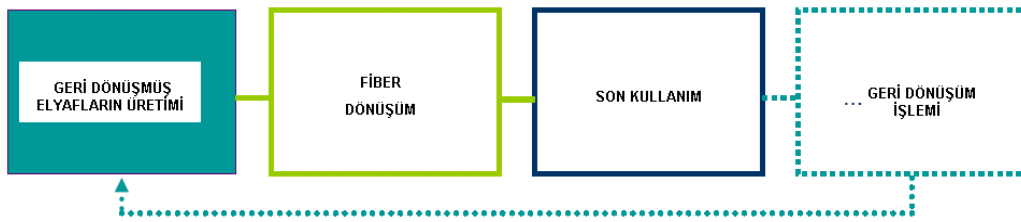
Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da CTP ezme sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



YENİ CTP EZME SİSTEMİ

Şekil 2.10 CTP ezme sistemi (Young Yoon, 2007)

Geri Dönüşmüş Elyaf



Şekil 2.11 Geri dönüşen elyaf kullanımı (Turner, Warrior ve Pickering, 2008)

Turner, Warrior ve Pickering, (2008)'e göre geri dönüşmüş elyaf için sakıncalar şöyledir:

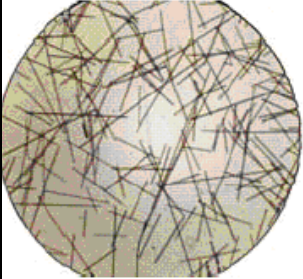
- Tekli filamentler (lifler) / 3D (3 boyutlu) rasgele mimarisi
- Son derece düşük yoğunluktur (~ 50kg/m³)
- Değişken elyaf uzunluğu
- Aşırı kullanımın elyaf özelliklerini azaltmasıdır.

Larsen, (2009) bir başka zorluğun ise geri dönüştürülmüş elyafların çeşitli reçinelerle kaplanmış orijinal elyaflardan daha kısa olacağını ve belirli bir yöne ayarlama konusunda daha sert olmasıdır, der. Bu, mesela araba tamponlarında ihtiyaç duyulduğu gibi, sağlamlığı arttırmayı zor bir hale getirmekte olduğunu ekler.

Dönüştürülen Cam Elyafının Kullanımı

SAF HOMOJEN CAM MALZEMESİ

SON KULLANIM ALANLARI:



- Cam takviye dolgu, yapıştırıcı ve boyada
- Cam takviye SMC,BMC’de
- Cam takviye asfalt içinde
- Yüksek sıcaklık yalıtımda,
- Yeni bor cam için ham malzeme olarak kullanılıyor

Bazı ilginç son kullanım alanları gizli tutulur

Şekil 2.12 Dönüştürülen cam elyaf kullanımı (ReFiber ApS, bt)

Geri Kazanılan Cam Elyaf Özellikleri

Pickering, (bt)’e ve Şekil 2.13’e göre geri kazanılan cam elyaf özellikleri şöyledir:

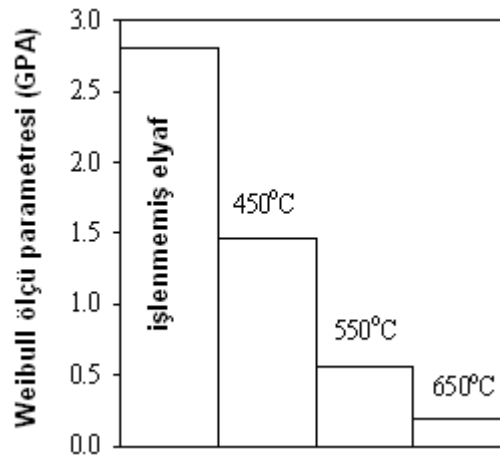
Çekme mukavemeti: 450 °C ‘de işlem gördükten sonra % 50 azalmıştır.

Elastisite Modülü: değişmemiştir.

Saflık: % 80

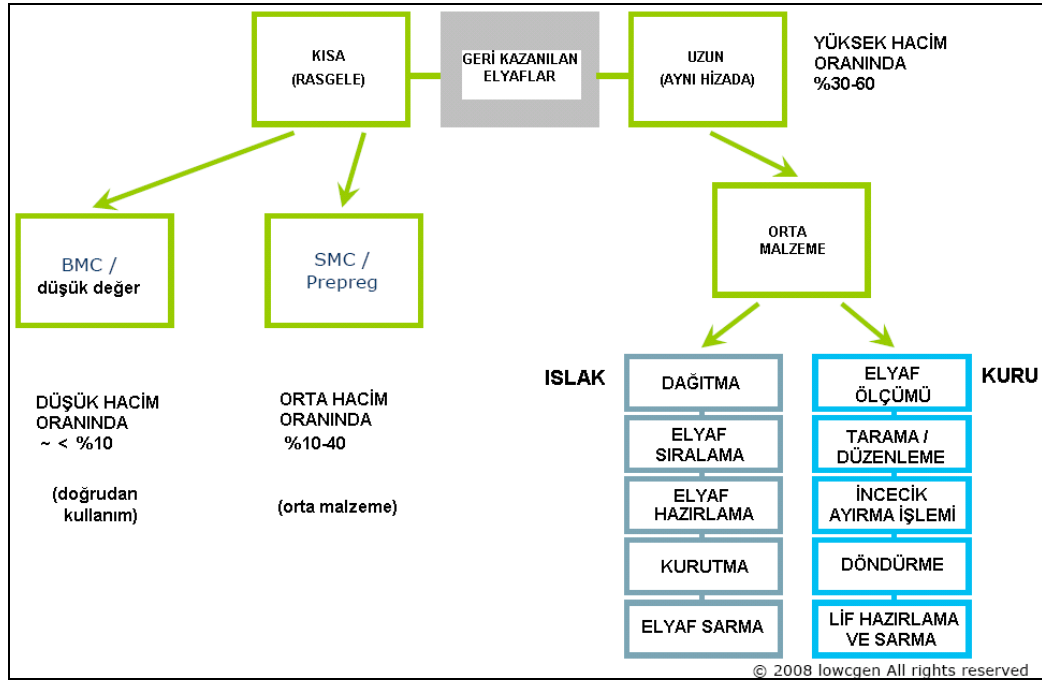
Ortalama elyaf uzunluğu: 3 ila 5 mm,

Elyaf formu: Kabarık mono filamentler halindedir.



Şekil 2.13 Çeşitli sıcaklıklarda elyaflar (Pickering, bt)

Kullanma metodları



Fiberline Composites A/S, (bt) geri dönüşüm süreci ticari olarak işlemektedir, der. Örneğin, Almanya, Ercom Kompozit Geri Dönüşüm GmbH adlı şirket, cam elyaf takviyeli doymamış polyesterleri alıp granül halinde satmaktadır. Granüller dolgu olarak veya sınırlı ölçüde takviye malzemesi olarak kullanılabilir.

Young Yoon, (2007) geri dönüşüm yöntemlerden biri olan mekanik geri dönüşümün, güvenlik tehlikelerine rağmen, teknik olarak kanıtlanmış basit bir yöntem olduğunu belirtir.



Şekil 2.15 CTP öğütücü (CTP Equipment, Inc&Seawolf Design Inc, bt)

Şekil 2.15'deki makine CTP öğütücüdür, çekiç değirmenine benzer. Düşük sıcaklıkta; yanmayı ortadan kaldırarak, cam elyafı aşındırıp kırıntı haline getirir. Bu CTP bileyici, elyaf ve bütünlüğünü yeniden kullanmanızı sağlar. (CTP Equipment, Inc&Seawolf Design, bt)

Seawolf Design Inc.(2007), internet sitesinden yapılan araştırmalarda CTP öğütücünün aşırı ve uzun süre kullanılabilirliği (yani haftada 7 gün, günde 8 saat), 12 yılda aktif olarak kullanılır olabileceği yazmaktadır. Yine aynı sitedeki makine kapasitelerine göre çıktı miktarları şöyledir:

6" CTP öğütücü----200 kg / saat çıktı

12" CTP öğütücü---400 kg / saat çıktı

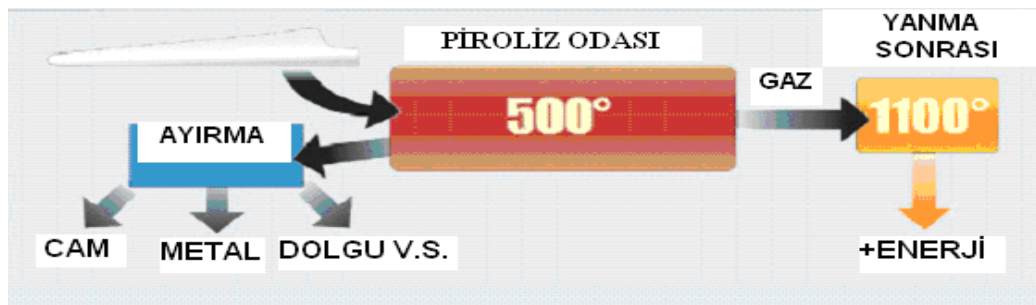
16" CTP öğütücü---600 kg / saat çıktı

24" CTP öğütücü -800 kg / saat çıktı

2.5.2 Termal:

Piroliz olarak da bilinen termal CTP hurda dönüştürme, polimer materyali yağ olarak geri kazanmak için, hareketsiz bir ortamda malzemenin ısınmasını gerektirir. Hareketsiz ortam yanmaya imkân vermez, böylece hava kirliliği etkileri yakıp kül etmeye nazaran bu işlem için daha düşüktür. (Bartholomew, 2004)

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008) dediği gibi, geri dönüşümde termal işlemlerden en iyi bilineni pirolizdir. Atıklar piroliz sürecinde, piroliz ünitesine yüklenir ve oksijen yokluğunda ısıtılır. Yanma işlemi çok daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşir, lifler kırılmış life oranla orijinal gücünü korur. Şekil 2.16'da bütün süreç şematik olarak gösterilmektedir.

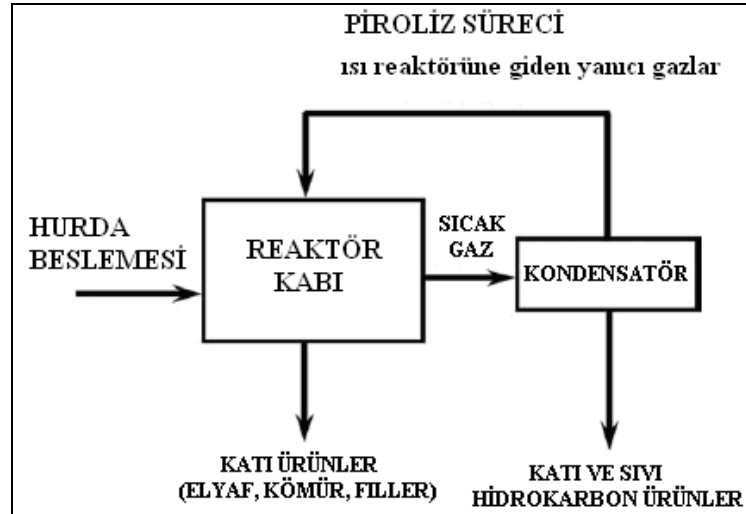


Şekil 2.16 Piroliz reaktör diyagramı (Larsen, 2009)

Elyafta, piroliz kullanmak suretiyle, geri kazanılabilir, ancak termal basınçlar geri kazanılmış elyafların sağlamlığını azaltan yüzey kusurları meydana getirir. Geri kazanılmış yağ, yakıt olarak kullanılabilir veya reçine hammadde kimyasallarını yenilemek için arıtılabilir. Bazı çalışmalar, piroliz işleminin termal olarak kendi kendine yetebilir olduğunu göstermiştir ki bu da pirolizden çıkan gaz ürününün yağ ürününü geri kazanmak için ihtiyaç duyulan işlem ısını sağladığı anlamına gelmektedir. Yağ ürünü, yakıta benzeyen yaklaşık %40 ve %60 oranında nispeten brüt yüksek ısıtıcı değerlere sahip olduğunu göstermiştir. Birleşik Devletler Enerji Departmanı, değerlerini arttırmak için bu piroliz yağlarını arıtma teşebbüsüne girişen araştırmaları desteklemiştir. Piroliz ayrıca hurda lastikleri işleme amaçlı bir yöntem olarak önerilmektedir ancak 20-30 yıllık çabalar lastik geri dönüştürme amaçlı olan ticari amaçlı olarak geçerli bir uygulamayı gösterememiştir. (Bartholomew, 2004)

Malzeme genellikle dakika başına yaklaşık 5 °C artan oranda 450 °C son piroliz sıcaklığına kadar ısıtılır. Bu sürecin sıcaklığı optimum cam elyafın yüksek sıcaklıklarda işleme sırasındaki mukavemetindeki azalmasıyla ilgilidir. Az kirlenme ile (% 80 saflık üzerinde) elyaf iyi durumda alınır. Pirolizdeki buhar varlığı, polimer bozulma oranını artırır ve elyafın daha kolay ayrılmasını sağlar. Bu geri dönüşüm yönteminde hurda veya atık üründen kimyasallar veya yakıt üretilir. (Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, 2008)

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008) ve Şekil 2.17'e göre, reaktör; ısı transferi ile sıvı ve katalizörü, mekanik boyut küçültme sonrası hurda kompozitle birleştirir. Karışım sonra yüksek sıcaklık ve basınç altında işlenir. Yan ürünleri fenolik (fenik asit) bileşenleri içerir, ahşap sanayi için bu fenolik bazlı yapıştırıcıları kullanılması üzerine araştırma yapılmaktadır.



Şekil 2.17 Piroлиз süreci (Pickering, 2006)

Hem lastik hem de kompozit piroliz seçeneklerini araştırmakta olan bir şirket (Adherent Teknolojileri ile ortak olarak) Titan Teknolojileri'dir. Kompozitler alanında, yüksek değerli geri kazanılmış karbon elyaf malzemesi nedeniyle, karbon elyaf ürünleriyle ilgili olarak bu teknoloji en ileri teknolojidir. (Bartholomew, 2004)

Pickering (2006), polyester kompozitin pirolizden çıkan ürünleri Tablo 2.4'de gösterilmektedir.

Tablo 2.4 Polyester kompozit pirolizden çıkan ürünleri, ref. [Pickering, 2006] Kompozit Kompozisyonu (Ağırlıkça) = Polyester reçine ve katkıları (%63), cam elyaf (%30), kalsiyum karbonat filler dolgu (%7)

Piroliz ürünleri (450 ° C)	(Ağırlıkça)
Katı	%39.3
Yağ / Katı Organik	%39.6 / 15.4
Gaz	%5.8

Yağ ve katı organik ürünler kompozisyonu	(Ağırlıkça)	
ÇEŞİTLER	Yağ	Katı Organik
Etilbenzen/ksilen	%3.6	%0.3
Stiren	%26.2	%1.0
α-Metilstiren	%5.5	%0.3
Ftalik anhidrit	%2.7	%96.2
Dimetil Ftalat	%2.5	%0.3
1,3-difenilpropan	%5.1	%1.1
Diğer	%44.6	%1.8

Leeds üniversitesinde üstlenilen çalışma, 350`den 800 °C`ye kadar değişen piroliz kompozit çeşitlerini içermektedir. Piroliz araştırmaları havanın olmadığı durumlarda sabit bir yatak reaktöründe kompozitleri kapsamaktadır. Polyester reçinelerin 450 °C`lik bir ısıda tam olarak ayrıştığı, ancak diğer reçinelerin genellikle 500-550 °C`lik daha yüksek ısılarla gereksinim duyduğu bulunmuştur. Kompozitler genel olarak 1 ile 10 arasında gazlı ürünler vermiştir. Karbondioksit üretilmiş olan ana gazdır, ancak önemli oranda karbonmonoksit, hidrojen ve diğer hidrokarbonlar gibi yanıcı gazlar üretilmiştir. Pickering, (2006)`e göre, gazlı ürünlerin brüt kalorifik değerleri, metan bakımından zengin olan epoksi reçine kompozitinden ve monomer propan bakımından polipropilen termoplastik kompozitinden çıkan gaz hariç, genellikle 18 MJ/kg`den daha azdır. Bu materyallerden kaynaklanan gazlı ürünler 42 ile 44 MJ/kg arasında yüksek kalorifik değerlere sahiptir. Yoğunlaştırılabilir sıvı %26 stiren içermektedir ve katı yoğunlaştırılabilir ürün %96 ftalik anhidrittir. Piroliz işlemi polimerden kimyasal hammadde üretmek için potansiyele sahiptir, ancak bunlar üretilen ürünlerin karışımından arıtmak zor olabilir. Şayet bir piroliz işlemi yakıtlar gibi sadece kullanım için uygun olan kimyasallar üretiyorsa, o zaman yüksek kalitede elyaf geri kazanımına sahip bir enerji kazanım işlemi daha kabul edilebilir olabilir. Sadece geri dönüşüm rotalarının çevresel denetimleri hangilerinin en geçerli olduğunu belirleyebilir, gerçi bazı çalışmalar geri dönüşüm işlemleriyle çok daha analizin yapılmasına ihtiyaç duyulduğunu bildirmiştir. (Pickering, 2006)

Piroliz ürünlerinin kompozisyonları akışkan yatak ve piroliz sıcaklığına bağlı olarak değişir. Aromatik bileşikler genel olarak oksijen ortamında 600-900°C piroliz sıcaklığında oluşurlar. Plastik atıkların oksijensiz ortamda yüksek sıcaklarda (600-900°C) parçalanıp katı, sıvı ve gaz gibi değerli ürünlere dönüştürülmesidir. (Pirolizde kullanılan atık malzemenin özelliğine bağlı olarak) Yani yüksek sıcaklıkta moleküllerin ısı olarak parçalanması veya plastiklerin ısı etkisiyle hidrokarbonlarına ayrılmasıdır. Yüksek sıcaklıklarda bozulan plastikler 20-50°C`ye kadar soğutulurlar. Sıvı ürünler, yağ absorbe ünitesinde uzaklaştırılır. Piroliz gazları akışkan yatağın dolaylı ısıtılmasında kullanılır. Piroliz yönetimi ile elde edilen çeşitli ürünler saflaştırıldıktan sonra, tekrar hammadde olarak kullanılabilir. (Ünal, 2001)

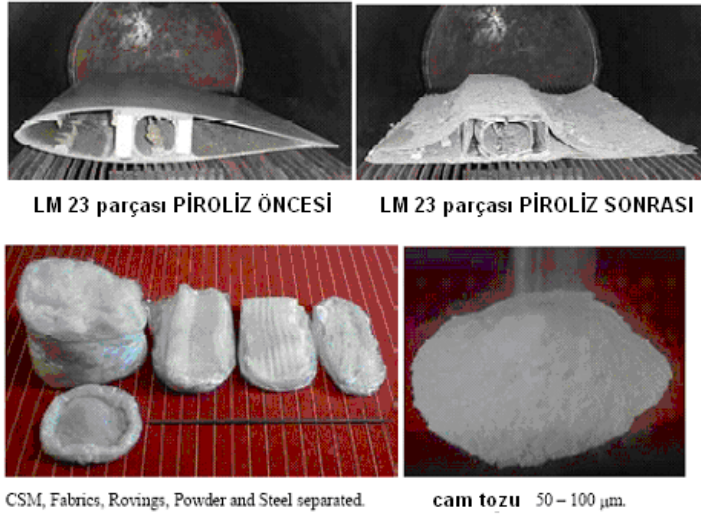
Bartholomew, (2004)'e göre, eğer teknoloji ilerlemeye devam ederse, pirolizin CTP hurda için potansiyel geri dönüşüm yöntemi, plastik geri dönüşümün diğer türleri ile birlikte devam etmesi mümkün hale gelebilir.

2.5.2.1 Piroliz Örnekleri

Geri Dönüşüm Rüzgar (Rüzgar Güllü) Türbin Kanatları

Larsen (2009) belirttiği gibi, rüzgar türbini kanatları genelde takviye elyaflardan oluşur. (Cam elyaf veya karbon gibi elyaflar, polyester ya da epoksi gibi plastik polimerlerden oluşur.) Rüzgar türbini kanatları yaklaşık 20-25 yıllık ömre sahiptir. Asıl soru onlarla sonra ne yapılacağıdır. 1 KW'lık türbin için 10 kg rotor kanat malzemesi gereklidir. 7.5 MW türbin için 75 ton rotor kanadının dönüşmesi gerekir. Eylül 2008 'deki Avrupa Kompozitleri sunumunda 2034 yılı itibariyle yaklaşık 225.000 ton rotor kanat malzemesinin dünya çapında geri dönüşümlü olması gerekeceği tahmininde bulunulmuştur. Uzmanlara göre bu sorunların rüzgar türbini sanayisinde nispeten yeni olduğundan, pratik türbin geri dönüştürme deneyimleri sınırlıdır. Geri dönüşüm, rüzgar enerjisi ve bertaraf sistemleri pratik deneyimi, sökülmesi-ayrılması açısından zaman alacaktır. Bu kanatları ulaşım kolaylığı için parçalar halinde kesmek gerekir. Vinç veya kepçeli bir teknoloji yaygın kullanılabilir. KEMA danışmanı, iyi bağlar için yeni ham elyaf (uzun elyaflar) ile matrisin olması gerektiğini belirtmiştir. (Larsen, 2009)

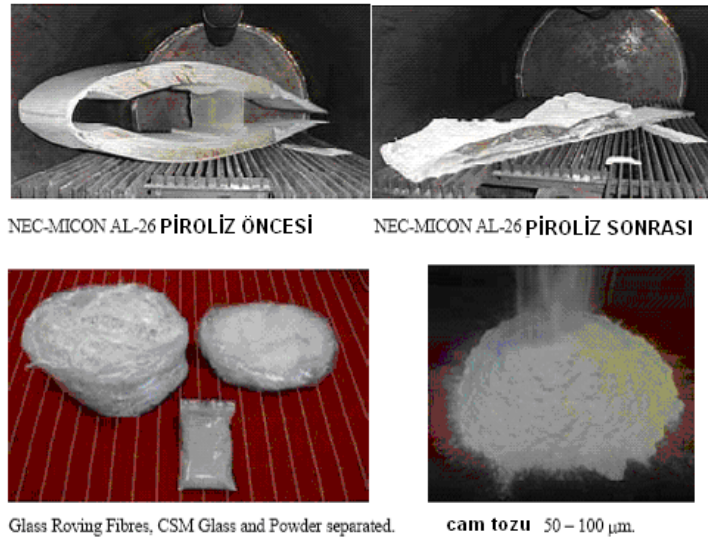
ReFiber ApS.(2009) kaynağından alınan bilgiler ışığında, Şekil 2.18-Şekil 2.21 arası tablo ve şekillerde türbin kanat parçalarının piroliz öncesi ve sonrası sonuçları gösterilmiştir :



Piroliz Sonuçları

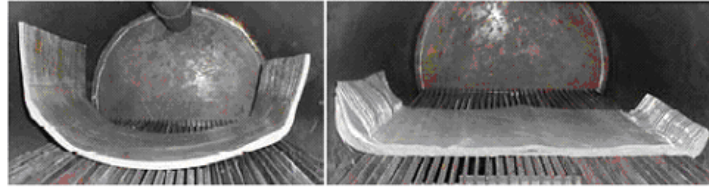
Cam elyaflar	6.1 kg	%29.6	Geri dönüşebilir
Paslanmaz çelik	0.5 kg	%2.4	Geri dönüşebilir
Renk pigmentleri ve yapışkan dolgu (filler)	0.8 kg	%3.9	Geri dönüşebilir?
Pirolize olmuş polyester vb.	13.2 kg	%64.1	Enerji kaynağı
Kanat parçasının başlangıç ağırlığı	20.6 kg	%100	

Isı enerjisinde bedel olarak yaklaşık 9.1 litre gaz yağı harcandı. (ReFiber ApS., 2009)
 Şekil 2.18 LM 23 parça pirolizi (ReFiber ApS., 2009)



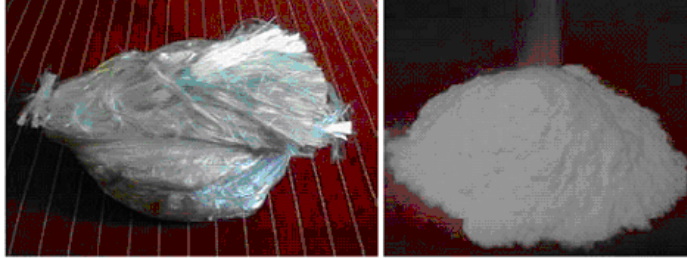
Cam elyaflar	2.7 kg	%14.3	Geri dönüşebilir
Renk pigmentleri ve yapışkan dolgu (filler)	0.3 kg	%1.6	Geri dönüşebilir?
Pirolize olmuş polyester ve odun vb.	15.8 kg	%84.1	Enerji kaynağı
Kanat parçasının başlangıç ağırlığı	18.8 kg	%100	

Isı enerjisinde bedel olarak yaklaşık 6.7 litre gaz yağı harcandı. (ReFiber ApS., 2009)
 Şekil 2.19 NEC-MICON AL-26 parça pirolizi (ReFiber ApS., 2009)



VESTAS V 47 PİROLİZ ÖNCESİ

VESTAS V 47 PİROLİZ SONRASI



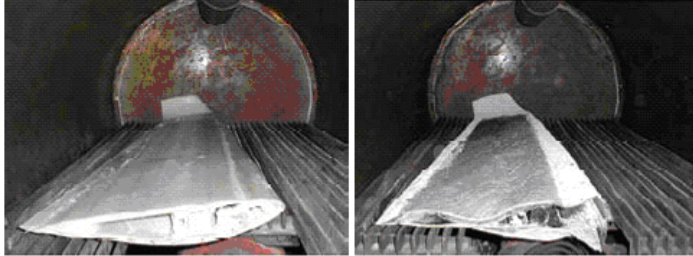
Glass Roving and Fabrics collected after pyrolysis.

cam tozu 50 – 100 µm.

Cam elyaflar	10.5 kg	%69.1	Geri dönüşebilir
Pirolize olmuş polyester vb	4.7 kg	%30.9	Enerji kaynağı
Kanat direği parçasının başlangıç ağırlığı	15.2 kg	%100	

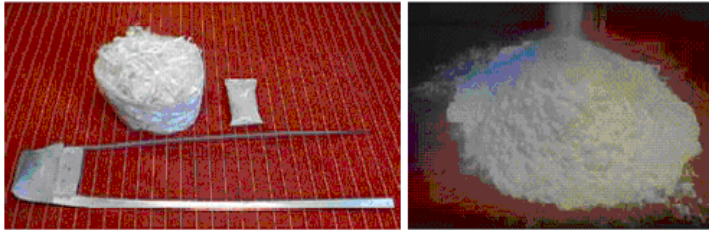
Isı enerjisinde bedel olarak yaklaşık 3.2 litre gaz yağı harcandı. (ReFiber ApS., 2009)

Şekil 2.20 VESTAS V47 pirolizi (ReFiber ApS., 2009)



ENERCON E-40 PİROLİZ ÖNCESİ

ENERCON E-40 PİROLİZ SONRASI



Glassfibers, powder and aluminium separated.

cam tozu 50 – 100 µm.

Cam elyaf	4.2 kg	%26.6	Geri dönüşebilir
Renk pigmentleri ve yapışkan dolgu (filler)	0.3 kg	%1.8	Geri dönüşebilir?
Alüminyum parçalar	4.0 kg	%25.3	Geri dönüşebilir
Pirolize olmuş polyester vb	7.3 kg	%46.3	Enerji kaynağı
Parçanın başlangıç ağırlığı	15.8 kg	%100	

Isı enerjisinde bedel olarak yaklaşık 5.0 litre gaz yağı harcandı. (ReFiber ApS., 2009)

Şekil 2.21 Enercon E-40 parça pirolizi (ReFiber ApS., 2009)

Piroliz çıktıdan geriye kalan % 75'i sağlam olarak kullanılan bir çok ürün vardır. SMG karbon karakter için artık dolgu ürün sıvı içinde cam elyaf ve kalsiyum karbonat potansiyelinde daha fazla kömür içine işlenmiş olabilir, asfalt şingıl ve kaldırım yapımında dolgu olarak kullanılır. Ayrıca elektrikli çitler, kapılar, at ahırlarında, hayvan kafesleri için plastik eşya olarak kullanılabilir. (Sponberg, bt)

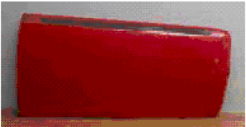
Larsen (2009)'e göre de; pirolizden gelen son ürünler öncelikle ısı dayanıklı izolasyon malzemeleridir. Bu lifler de takviye-dolgu, yapıştırıcı ve boyada, termoplastik parçalar, asfalt - beton ve yeni cam elyaf için hammadde olarak kullanılır.

2.5.3 Yakma:

Ünal, (2001) belirttiği gibi, hem plastikler hem de termosetler yüksek enerji veren malzemelerdir. Plastik atıkların ısı değeri diğer enerji kaynaklarından oldukça yüksektir. 1 kg plastik atığın ısı değeri diğer enerji kaynaklarından oldukça yüksektir. 1 kg plastik atığın ısı değeri 11.000kcal iken, 1 litre fuel-oil 10.200kcal, 1 kg taş kömürü 7.000kcal ve 1 kg linyit 4.800kcal civarındadır.

Şekil 2.22 çeşitli malzemelerin ısı değerlerini gösterir.

 KALORİ DEĞERLERİ			
Polyester	Nordisk AeroForm ApS / DK-teknik	28.8	MJoule/kg
Epoksi	Nordisk AeroForm ApS / DK-teknik	30.8	MJoule/kg
Saman	(Litterature) ca.	15	MJoule/kg
Odun	(Litterature) ca.	15	MJoule/kg
Kömür	(Litterature) (12 % water) ca.	25	MJoule/kg
Gaz Yağı	(Litterature)	42	MJoule/kg.

3 kg CTP		=		1 litre petrol
-----------------	---	---	--	-----------------------

Şekil 2.22 Malzemelerin ısı değeri (ReFiber ApS, bt)

CTP geri dönüşüm için nihayet üçüncü iyi bilinen termal işlem, enerji geri kazanımı ile yakmadır. Tüm organik maddelerdeki gibi, yüksek ısı veren değeri nedeniyle enerji geri kazanımı ile yakma da CTP atıklar için uygun bir seçenektir. (Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, 2008)

Bu geri kazanım metodu plastik atıkların yakılarak enerjiye dönüştürülmesidir. Bu yöntem özellikle büyük şehirlerde ve çöp depolama alanlarının sınırlı olduğu bölgelerde organik atıkların miktarını azaltmak için uygulanır. Yakma işlemi, büyük ebatlı yakma fırınlarında gerçekleştirilir. (Ünal, 2001)

Ünal, 2001'e göre;

- a) Aşırı ısınmadan dolayı yakma fırınları zarar görmektedir.
- b) Hava kirliliğine sebep olarak çevre ve insan sağlığını tehdit etmektedir.

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008), hala ortak yanma sonucu çıkan küllerle birlikte zehirli emisyonları ile yöntemi itici kılan yüksek ısı veren içerik nedeniyle onlarla ilgili sorunlar var diyerek, çevre ve insan sağlığı hakkında Ünal (2001) ile aynı fikirde olduğu sonucuna varılmaktadır. Larsen (2009), geride kalan yanma sonrası kül hurdanın 60% civarında olduğunu söyler. Bu küllerin geri dönüşümlü inşaat malzemelerinde kullanıldığını belirtir. Yanma baca gazlarını temizlemek sorunlarının başında toz filtre cihazlarını temizlemektir, görüşünü ortaya atmaktadır.

Ünal, (2001) baca gazının temizlenmesini, fırına kireç taşı ilave edilmesini ve zararlı plastik katkı malzemelerin kullanılmaması ile ortaya çıkan problemlerin çözümünün mümkün olacağını söylemektedir.

CTP hurdayı enerji geri kazanımı ile yakma, geri dönüşüm yöntemi olarak bazı literatürlerde geçer. Yakmanın kesinlikle "geri dönüşüm tekniği" olarak nitelemek tartışmaya açıktır. Yakmada depolanan malzeme değil, hurdanın enerji içeriği geri kazanılır. Bu yöntemin dezavantajı hurda CTP yakma sonucu hava kirliliği oluşturmastır. Malzeme ve lif içeriğiyle depolanan atığa, potansiyel olarak kül kimyasal analizinde tehlikeli atık olana kadar son verilecektir. Bazı katalizörler / bileşenleri kobalt gibi metaller içerir. (Bartholomew, 2004)

Ünal, (2001)'in belirttiği gibi, yakma işlemi iki şekilde uygulanır.

- 1) Enerji elde etmek amacıyla yakma: Ambalaj atıkları da diğer ısı değeri yüksek olan katı atıklar gibi yakılarak ısı enerjisi elde edilebilir. Bu enerji büyük tesislerin ve konutların ısıtılmasında veya elektrik enerjisine dönüştürülerek yararlanılabilir.
- 2) Enerji elde etmeden yakma: Bu yakma yöntemi daha çok zehirli ve tehlikeli atıkları ortadan kaldırmak için kullanılır. Ancak yakma esnasında ortaya çıkan zehirli gazlar çevre kirliliğine sebep olur ve insan sağlığını tehdit edebilir. Bu problemi ortadan kaldırmak için baca filtreleri kullanılır. Yakma sonucu geriye kül ve metal parçaları kalmaktadır.

Yanmayan bu hurda malzemeler, çimento içinde dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. (Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, 2008)

Bartholomew (2004) kaynağına göre, cam elyaf kullanılacak olan bir yakma, çimento ocak yakıtıdır. Bu durumda, polimer malzeme portland çimento üretmek için gerekli olan enerji girdisine katkı sağlayacak ve cam elyaf karışıma silis ilave edecektir (silis zaten işleme eklenen bir materyaldir). Bir atık bertaraf stratejisi olarak çimento ocağını kullanmanın çevresel etkisi önemli bir çelişkidir.

Larsen, (2009) içinde birleşik ısı ve güç olan CHP (Combined Heat and Power) tesisleri, atık yakmayla meydana gelen ısıyı elektrik üretmek için oluşturulan enerjiye, herhangi bir bölgeyi ısıtma besleme sistemi için kullandığını söylemektedir.

Larsen (2009)'a benzer bir çalışmada Ünal (2001) bahsettiği gibidir. Ünal (2001), plastiklerin yüksek ısı değerine sahip olma özelliklerinden dolayı yakılarak değerlendirilmeleri 1970'li yıllarından beri yapıldığını belirtir. Örneğin, Almanya'nın Frankfurt şehri çöplerin yakılarak enerjiye dönüştürülmesi ile 38.000 nüfuslu bir yerleşim biriminin merkezi ısıtılması ve elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Plastik atıkların yakılarak enerjiye dönüştürülmesi ile depolamada karşılaşılan güçlükler, toplama ve sınıflandırma gibi değerlendirmedeki önemli problemlerden kurtulunuyorsa da yeni çevre problemleri ile karşılaşılmaktadır. Yakma neticesinde ortaya çıkan kurşun, çinko, civa, krom ve kadmiyum gibi ağır

metaller asit gazları oluştururlar ve asit yağmurlarına sebep olurlar. Bu asitler insan sağlığı için tehlike arzeden kükürt, klor ve flor gazları içerirler.

Albers'e göre yakma sürecinde işçilerin sağlığı ve güvenliği ile ilgili endişeleri vardır. (Larsen, 2009)

Ünal, (2001) bu yöntemden iyi bir performans elde edebilmek için, özel yakma şartlarına, gaz ve diğer emisyon kontrol ekipmanlarına, sorumlu yönetime, sistemin gelişmesine ve işçilerin dikkatli bakım ve onarım çalışmalarına bağlı olmasını şart koşmaktadır.

Bartholomew, (2004)' e göre, düzenli depolamanın Amerika'dan daha pahalı olduğu Japonya'da, yakma seçeneğinin en gelişmiş teknik olduğu görülmektedir. Çoğu CTP ürünü düşük reçineli fibere sahip olduğu için, enerji kazanımı muhtemelen bu seçenikle ilgili riskleri haklı çıkarmaz. Ünal, (2001) göre de bu durum, Danimarka ve İsveç gibi Avrupa ülkelerinde yakma ile atıkların değerlendirilmesi işlemi Amerika Birleşik Devletlerinden daha fazladır. Yakma ile katı atıkların bertaraf edilmesi Almanya, İsveç, Danimarka, Japonya, İsviçre gibi bazı ülkelerde kabul görmektedir, demektedir.

2.5.3.1 Yakma Enerji Geri Kazanımı ve Kompostlama

Toksik emisyonlarla birlikte yüksek kalorifik içerik sisteme aşırı yük bindirme eğiliminde olduğu için yakma operatörleri aslında CTP atığı almak için daha fazla görevlendirilir, bu da onların fazla dahili artık olarak işleyemeyecekleri anlamına gelmektedir. Enerji geri kazanımından gelen enerji üretiminin ikinci derecede bir mesele olduğu ve yakma operatörünün öncelikli ısı dahili artıkların imha edilmesidir. Nispeten az miktarlarda CTP atığını yakmak suretiyle, büyük miktarlardaki dahili atıkların (limitsiz bir arzın olduğu) öp sahasına gönderilmesi gerektiği akılda tutulmalıdır. Doğal fiber CTP'leri yenilenebilir kaynaklardandır ve kullanım ömürlerinin sonunda organik gübreye dönüştürülebilir veya yakılabilir. (Recycling, Network group for composites in construction, bt)

CTP atıklarını ele almada mevcut olan seçeneklere hitap etmek için mevcut ve olması yakın atık yönetimi yasası endüstriye daha fazla baskı yapacaktır. Araziye

boşaltma, yakıp kül etme, kullanım ömrü sonu araçları, elektrikli ve elektronik ekipmanlarla ilgili Avrupa Birliği atık yönetimi yönergeleri ve atık stratejisi 2000, sürdürülebilir tasarım stratejisi, çöp boşaltma vergisi ve yerel hükümet politikaları gibi Birleşik Krallık hükümet politikası CTP endüstrisinin tümünü etkileyebilir. Bu tür atık yasası, atıkları geniş bir hiyerarşiyle ele almaya odaklanır ve bu nedenle geri dönüşüm ve yeniden kullanımla CTP atık yönetimini çözmede daha fazla baskı kuracaktır. (Recycling, Network group for composites in construction, bt)

2.5.4 Kimyasal:

Depolama, yakma ve tekrar işleyerek değerlendirmedeki problemler, plastik atıkların kimyasal yöntemlerle enerji ve kimyasal hammaddelere dönüştürülmesini zorunlu kılmaya başlamıştır. Mekanik geri kazanımda gerekli olan temizleme ve çeşitlerine göre ayırma, kimyasal geri kazanımda gerekli değildir. Bu da toplama ve ayırma maliyetini azaltan bir etkidir. (Ünal, 2001)

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008) hurda malzemenin kimyasal bozulma sürecinde çözücüler, asitler ve alkaliklerin çeşitli sıcaklıklarda da dahil olmak üzere bu kimyasallarla matristeki liften ayrılabilceğini belirtirler.

Bu geri dönüştürme yöntemi reçineyi fiberlerden ayırmak için kimyasallar kullanır. Bu yöntemi kullanmak suretiyle fiberler kendi orijinal sağlamlıklarının çoğunu kaybetmezler. Ancak, bu yöntem tipik olarak fiber uzunluğunu azaltan hurdanın granüle edilmesini ve potansiyel olarak çok fazla solventler kullanılmasını gerektirir. (Bartholomew, 2004)

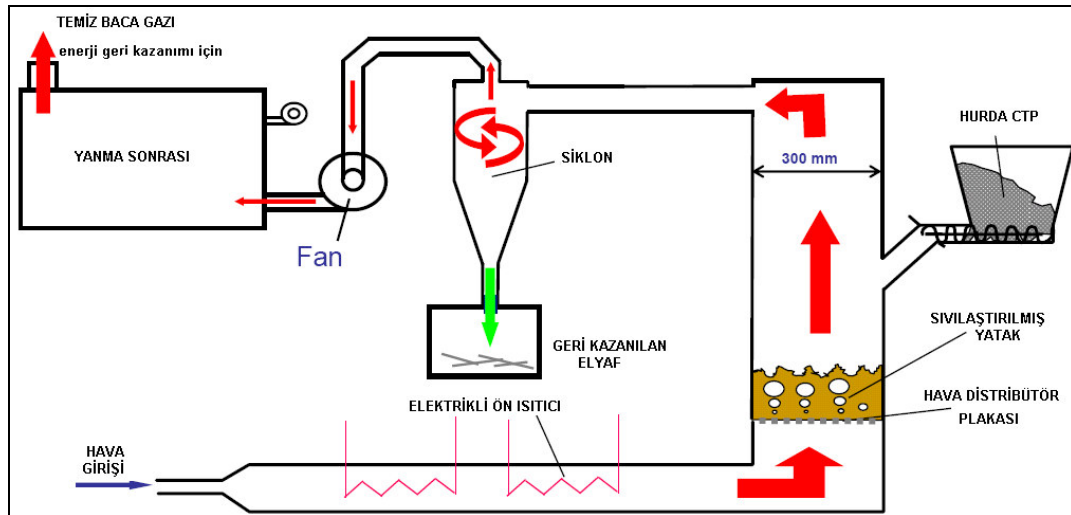
Ünal (2001) kimyasal geri kazanımı, plastik malzemelerin kullanım sonrası atıldıktan sonra polimer, monomer, yakıt veya kimyasallar olarak tekrar kullanılabilir ürünlere ayrılabilmesi olarak tanımlamıştır. Kimyasal geri kazanım yönteminin karmaşık ve ileri teknoloji isteyen bir kavram olduğunu, söylemektedir.

Larsen, (2009) bu yöntem ile, “cam elyaf ve gerilme gücü aynıdır, plastik malzeme kısmen korunur olabilir, yeni hammadde olarak kullanılır” demektedir. Tehlikeli kimyasallar ve kimyasal olayların yüksek maliyetli olduğunu eklemiştir.

Kostopoulos, Fotiou ve Loutas, (2008) elyaf analizi için, kimyasal bozulma yöntemi önerilirse geri kazanıldığını öne sürmektedirler. İlk sonuçlarda, bu elyafın termal geri kazanım yöntemi ile geri kazanılan elyafa göre daha kırılkan ve tanımlanamayan ince bir film malzeme ile kaplı olduğunu belirtirler.

Bartholomew, (2004) bununla birlikte, bu yöntem tipik olarak fiber uzunluğunu azaltan hurdanın granüle edilmesini ve potansiyel olarak zararlı solventler kullanılmasını gerektiğini belirtir. Pirolize benzer olarak, kimyasal bir geri dönüşüm tesisi çok fazla sermaye anlamına gelecektir ve dağınık, Minnesota'da oluşturulan nispeten az miktarlarda CTP hurdasının bu gelişmekte olan teknolojinin ilgisini çekmesi olası olmadığını öne sürmektedir.

Sıvılaştırılmış Yatak Metodu



Şekil 2.23 Sıvılaştırılmış yatak metodu (Turner, Warrior ve Pickering, 2008)

Turner, Warrior ve Pickering, (2008)'e göre bu yöntemin (Şekil 2.23) avantaj ve dezavantajları şöyledir:

Sıvılaştırılmış yatak yönteminin

• Avantajları

- Temiz yüksek kalitede elyaflar
- İyi mekanik özellik alıkoyma/tutma
- İşlem kirlilik toleransı
- Basit işlem ve kolaylıkla ölçülebilme

• **Dezavantajları**

- Polimer kökenli hiçbir materyalin geri kazanımı olmaz (%33 materyal, %66 enerji)
- Çeşitli/Muhtelif kuvvet azalmasıdır. (~% 25)

Pickering, (2006) sınılaştırılmış yatak geri dönüştürme işleminin bir maliyet analizi yapıldığını ve bunun -camla güçlendirilmiş kompozitleri işlerken- uygun maliyetli olması için, yıllık en azından 10.000 tonluk bir işlem hacmi gerektireceği sonucunu çıkartmıştır.

Young Yoon, (2007) son araştırmacıların başka yöntemlerle ilgilendiğini, bunların da CTP atıklarının yakma veya ıslah edilmesine bağlı olduğunu ileri sürmektedir. Çünkü malzeme cam elyaf takviyeden oluşur, çok parçalara ayırmak zordur. CTP atık bertarafında ikincil sorun olarak, hava kirliliği ve kabul edilemez gürültü (ses) çıkması gibi sorunları belirtirler.

CTP geri dönüşüm metotlarının sakınca ve avantajları Tablo 2.5'te gösterilmektedir.

Tablo 2.5 CTP geri dönüşüm metotları (ReFiber ApS, bt)

METOD	MEKANİK	TERMAL FABRİKADA YAKMA	TERMAL MALZEME GERİ KAZANIMI	KİMYASAL
	<i>MALZEME EZME- ÖĞÜTME</i>	<i>YAKMA</i>	<i>PİROLİZ</i>	<i>ÇÖZÜCÜLER</i>
SAKINCALARI	Son ürün düşük değere sahiptir	Hurdanın %60 geriye kül olarak kalır ve bu depolanarak saklanabilir.	Cam elyaflar önemli ölçüde orijinal kendi çekme gerilmelerini kaybederler.	İyi granülasyona ihtiyaç var.
	Son ürün cam, karbonfiber, polyester, epoksi, bazla ağacı, pvc-köpük, poliüretan-köpük v.s içerir	Cam elyafların normal olarak geri dönüşümü olmaz	Teknik fabrikanın yüksek masrafları	Çoğu kullanımda tehlikeli kimyasallar var
	Cam elyafları polyester ya da epoksi içinde gömülüdür			Elyafları temizlemek çok pahalı
	Son ürün polimerizasyona başlayabilir Dolgu piyasasında			Teknik fabrikanın yüksek masrafları

	benzer ürünler bolluğu vardır			
	Plastiğin içerdiği enerjiyi geri kazanamayız			
AVANTAJLARI	Cam elyafın çekme gerilmelerinin çoğu korunmuş olur.	Sadece 1x1mt olarak olarak hazırlanabilir.	Son ürün çok homojen	Cam elyafların çoğu çekme mukavemeti korur
		Plastiğin içerdiği enerji geri kazanılabilir	Plastiğin sahip olduğu enerji geri kazanılır.	Plastik malzeme kısmen yeni ham malzeme olarak kullanılır.

Pickering, (2006) piroliz süreci sadece yakıt üretir, demektedir. Kimyasallar ile uygun bir enerji geri kazanımı yüksek kaliteli elyaf ile kurtarma işlemi daha fazla kabul edilebilir. Geri dönüşüm analizi yapılırken sadece çevre denetimi rotaları olanların kabul edildiğini ileri sürmektedir.

Larsen, (2009) alternatif geri dönüşüm olarak ya malzeme formu olarak geri dönüşüm veya ürünü yeniden güçlendirmeye geri dönüşümü vardır, demektedir. Larsen (2009)'e göre eski rüzgar türbinleri daha yeni, daha verimli olanlarla değiştirilir. Ancak, rüzgar türbini kanatları geri dönüşümüyle sadece % 30 CTP takviyeli plastik atık, yeni CTP formu için yeniden kullanılmakta olup-çoğu çimento sektöründe dolgu malzemesi olarak gitmektedir.

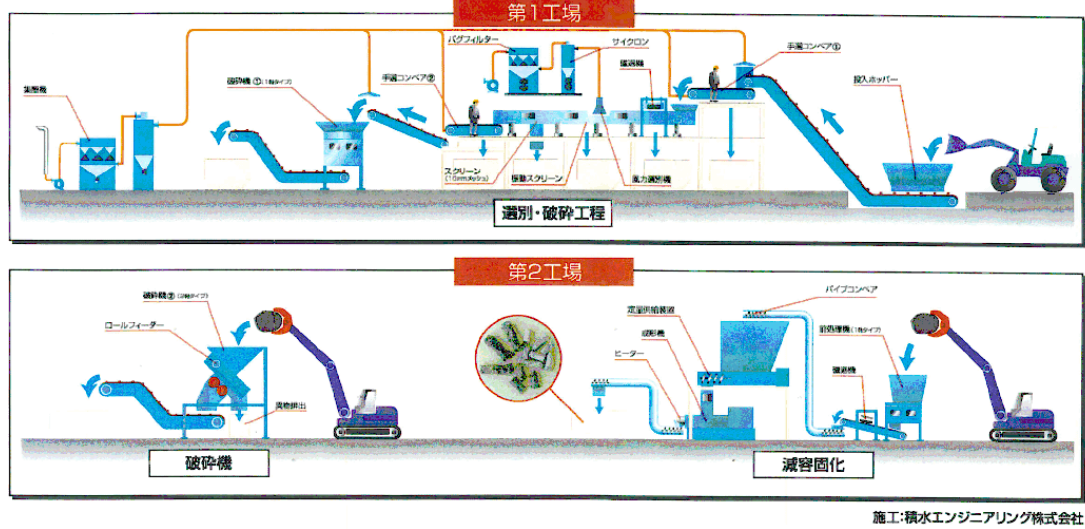
2.6 Geri Dönüşüm Fiber Takviyeli Plastik (CTP) Küvetleri

Atık malzemeler ya da malzeme dönüşümleri konusunda (Sekisui Chemical Co. Ltd Çevre Ürünleri) (JP-0230E) firması, internetten elde edilen bilgilere göre çimento için türetilmiş yakıt (RDF) yapmaktadır.

CTP kırıntı halinde (10-15mm'den küçük boyutta), küvetlerde eziliyor. (CTP takviyeli ezme-No 1) Fabrika çiziminde süreç sıralanmıştır. 0-50 birim hacim, ezilmiş cam takviyeli plastik, 50 birim termoplastik reçine (PVC hariç), No 2'deki gibi fabrikada tasarı öncesi birimi besler. Bu malzeme daha sonra 90mm boyutundan küçük CTP kırıntıları, ön ve volumetrik besleme ünitesine, boru konveyöre, oradan da kalıp makinesine geçmektedir. Bunlardan sonra, çimento şirketleri tarafından geri

dönüşümlü bir kaynak olarak yakıt (atıktan türetilmiş yakıt=RDF)‘a dönüştürülür. (Sekisui Chemical Co. Ltd., bt)

Şekil 2.24’de yöntem süreçleri (No 1-2) gösterilmiştir. (Sekisui Chemical Co., Ltd.)



Şekil 2.24 Geri dönüşüm fiber takviyeli plastik (CTP) kuvvetleri

Sekisui Chemical Co. Ltd., (bt) şirketin internet sitesine göre bu sistemin yararları:

- 1-Bu teknoloji takviyeli plastik geri dönüşümü sağlar,
- 2-CTP toz saçılması, ezme ve malzeme kurma süreçleri olduğu için, önlenmiş olur
- 3-Türetilmiş yakıt dönüştürmeyi kolaylaştırır, çimento şirketlerinin kullanmasını sağlar.

Bu metot: 2001 yılında ticari uygulamalara başlamıştır. Bu birim, Osaka Prefecture kuruluşu olan Daito şehrinde bulunan yüklenen operasyonda Shimuzu Mühendislik Ltd. tarafından tasarlanmıştır. (Sekisui Chemical Co. Ltd., bt)

Sekisui Chemical Co. Ltd., (bt) şirketinin internet sitesine göre kapasite ve özellikleri şöyledir:

İşleme Kapasitesi: günde 5 tona kadar

Klor İçerik: 3.000 ppm miktarda veya daha az

Kalori değeri: 5.000 kCal veya daha fazladır.

Çimento üretim tesislerinde yakıt olarak kullanmak için atık plastikten termal ve malzeme geri dönüşüm için bu teknoloji, önemli ölçüde geleceğin toplumuna kaynak oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Bu kapasiteye sahip temel malzeme elyaf

takviyeli plastik (CTP geri dönüşümü), kendi ürün yaşam sonuna yakın bu banyo ünitelerinde atık halinde bekletilmektedir. (Sekisui Chemical Co. Ltd., bt)

2.7 Durum Çalışmaları

Değişik şirketlerin durum çalışmaları aşağıda özetlenmiştir:

R. J. Marshall: Bartholomew, (2004)' e göre, RJ Marshall Firması tarafından Detroit'te bir mekanik işlem kompozit hurda pilot tesisi geliştirildi. Bu tesis bir kaç yıl önce otomotiv şirketlerinin talep yetersizliği nedeniyle boşaltıldı. Isılı sıkıştırma kalıplama araçlarının, CTP hurdanın oda sıcaklığında aşırı katalizör ve bileşenleri ile üretilmiş malzeme sorununu ortadan kaldırdığı öğrenilmiştir.

Yine Bartholomew, (2004) göre, ayrıca Detroit bölgesinin hurda miktarı fazla bir bölge olduğundan otomobil üretim ve toplama yeri olarak belirlendiğini, bunun da nakliye ve lojistik problemlerini en aza indirdiğini beyan etmiştir. Tüm bu avantajları ile RJ Marshall deneyimlerine göre, mekanik kompozitlerin geri dönüşüm ekonomisinin en marjinal olduğunu söylemektedir. RJ Marshall CTP geri dönüşüm konusuna eğilmek için gönüllüdür, eğer otomotiv şirketleri sorunu çözmek için çaba ile yaklaşırlarsa, şirket temsilcisiyle yapılan konuşmalarda yakın zamanda bu durumun gerçekleşiyor olmasına karşı umutlu olmadığı sonucuna vardığını söylemiştir.

Seawolf Endüstri: Bartholomew (2004), Seawolf Endüstri sahibiyle görüşmüştür, onlarla CTP hurda için geliştirilmiş bir geri dönüşüm sistemi ile ilgili konuşmuştur. Sistem, öğütülmüş malzemenin kuru sprey olarak yeniden kullanılması şeklindedir. Kyle Bartholomev'in konuştuğu kişi de yangın sorunu çıkarmadığını söylemiştir. Sistem 453,60 kg/saat (1000 libre/saat, 1kg= 2.20462 libre) öğütülmüş malzeme için 25.000 \$ ve yaklaşık 4.500 \$ olan besleme hunisi ve püskürtme tabancası maliyeti tuttuğunu, yeni üründe yaklaşık % 25 hurda malzeme içerdiğini beyan etmiştir. Bunların da Brezilya ve Avrupa ünitelerine satıldığını, fakat ABD'de CTP için sıkı düzenlemelerin yüksek katı atık bertaraf maliyetine neden olduğundan bahsetmiştir. Royaline ve Pearl Banyo OEA tarafından 1995 yılında, bu boya tabancasının

tıkanmasının bu sistemde bir sorun olduğunu belirtilen ayrıntılı finansal raporu yayınlanmıştır.

Precision Fiberglass (Grove şehri) – John Bergstrom: Bartholomew, (2004) öğütme ile sorunlara (Yangın, vb), kalıplanmış parçaların çokça reçine zengini olmasını ve bunun da onları kırılgan hale gelmesi eklendiğini söylemiştir. Başarılı ürünler yapıldığını fakat ticari olmayan yöntemler kullanılmadığını belirtmiştir.

Pearl Banyo ve Royale Endüstri - Minnesota Technology Inc Raporu: Minnesota Ofis Çevre Yardımı (OEA) tarafından finanse edilen Minnesota Teknolojileri (MTI), 1995 yılında Minnesota’da CTP atık geri dönüşüm için seçenekleri kapsayan bir rapor yazmıştır. Raporun yazarları CTP geri dönüşüm teknolojisini yeterince doğrulayan ayrıntılı testlere göre olgunlaştığı sonucuna varmıştır. Öğütme parçaları büyüklüğe göre ayrıldığı ve malzemenin seçilen boyut sınıflarında ham malzeme ile iki farklı spreyleme işlemlerinden sonra, yeniden uygulamaya konulmuş olmasıyla gerçekleştirdiği söylenmiştir. Bu geri dönüşümlü ürünlerin, daha sonra fiziksel özelliklerinin test edildiği ve standart ürünlerin geri dönüşümlü içerikle yapılmasına göre kıyaslanmıştır. (Bartholomew, 2004)

Bartholomew, (2004), fiziksel özellik test sonuçlarının da, öğütülmüş malzeme küçük boyutlu parçalarının fiziksel özelliğinin fazla bozulmaya uğramadan dolgunun belli bir miktar yerine geçebildiğini söylemiştir. Test sonuçları da istenen fiziksel özellikleri için lif içeriği ve lif uzunluğu arasındaki iyi anlaşılır ilişkilerini (kırılma gerilmesi, sertliği vb) doğrulamıştır. Uzmanlar, lif parçalanmayı en aza indiren geri dönüşüm planıyla uğraşılması gerektiğini söylüyorlar, ancak bu tür bir sistem keşfetmeyi göstermemişlerdir. En önemli sonuç bu işi teşvik etmek için, mekanik olarak öğütülmüş CTP hurdanın, büyük ihtimalle takviye malzemelerine karşı dolgu malzemesi yerine geçmesidir. Çünkü dolgunun takviyeden daha az pahalı olması bunun yersiz olmadığını belirtir. Yapılan testlere ek olarak mekanik CTP hurda geri dönüşüm ile ilgili maliyet ve fayda raporu analiz edilmiştir. 3400 lb / saat’lik CTP hurda işleme kapasiteli bir tesis düşünülmüştür, boyutunu azaltma donanımları ile yeniden spreyleme donanımları bakımından ilgili tesisin maliyeti 360,000\$ üzerinde olmuştur. Bu kapasite noktasında uzmanlar, bir üretim tesisinde, ayda tahmini dokuz

saat çalışıldığında, günde atıkların 1.500 lb kadar işlenebileceğini varsayarlar. 1500 lb / gün atık varsayımıyla ortalama bir imalatçı 1 günde 6,000 lb hammadde kullanır ve bunun da % 25 atık olarak çöpe gitmektedir.

Refibre APS 'ın Planladıkları Gelecek:

- Danimarka, Holstebro'da 5000 ton / yıl kapasiteli pilot tesis
 - Ar-Ge'de geliştirilebilir daha iyi gerilme güçlü elyaf çalışmaları.
 - Ar-Ge'de yeni yüksek değerli son ürünler hakkında çalışmalar.
- saf homojen kısa elyaf ürünleri yaratmaktır. (ReFiber ApS., bt)

Diğer Gelişmeler:

Ayrıca Direktif 2000/53/EC, belirttiği gibi, "bu operatörleri toplama, iyileştirme sistemleri kurmak için ve yaşam sonu gelmiş otomobil araçlarının "büyük otomotiv sanayinin etkisi olacaktır. Bu zorlukları karşılamak için, Avrupa Kompozit Ticaret Birliği'yle-EuCIA (European Composites Industry Association, daha önceden GPRMC)- birlikte önemli Avrupa'lı tedarikçiler ilk olarak "Avrupa Kompozit Geri Dönüştürme Kavramı" ve "Yeşil Etiket" 'i getirdiler ve 2004'ün ortalarında ECRC olarak adlandırılan bir şirket kurdular. ECRC ortak fikir ve çabalar için ortak bir merkez olarak hizmet edecek ve en son Avrupa atık yönergeleri konusunda meselelerin ana noktalarının yanı sıra teknik konularla ilgili olarak danışmanlık, uzmanlık ve çözümler sağlayacaktır. Mali desteklerinin karşılığında, iştirak eden şirketler ürünlerinin üzerine yeşil CTP geri dönüşüm etiketi koymaya yetkili olacaklardır. (Strong ve Mutel, 2005)

Larsen, (2009), yaklaşık 4000 ton Danimarka CTP sanayinden, 500 ton / yıl yıpranmış rüzgar türbini kanatlarından ve 500 ton / yıl diğer cam elyaf atıklarından olmak üzere toplamda 5000 ton / yıl tesisin üretim atıklarıyla besleneceğini söylemiştir. Danimarka Hükümeti CTP geri dönüşüm sorununu çözmek için, 'pazar' istemektedir.

Teknik Danimarka Üniversitesi, İşletme Bölümü Mühendisliğinde, Dannemand Andersen, sorun malzemenin kendisi değil, mali açıdan zor geri dönüşüm

yapılmasıdır, der. Sorunun teknolojik değil, hurda miktarının yetersiz olduğundan, ticari olarak geçerli hurdanın, bu türbin kanatların kullanabileceği bir fabrika çıkarabilmesine, işaret etmektedir. Wegman Reichhold ve ECRC 15-20 yıl devam süresi içinde daha iyimserler: Bu geri dönüşümün çevresel nedenlerden ve tabi ki ekonomik nedenlerden dolayı önemli olmaya devam edeceğini belirtmektedir. Albers ise, otomobil sektöründe görüldüğü üzere, son üründe genellikle sorumluluğu sonunda üretici ile bittiğine işaret eder. Rüzgar türbini kanatları geri dönüşümü hala sorun olarak görülmektedir, ancak ilerleme kaydedilmiştir. (Larsen, 2009)

ERCOM Kompozit geri dönüşümü (1992 - 2004) - ekonomik sorunlar nedeniyle sonlandırılmıştır. Parçalama, farklı parçacık boyutları ve malzemenin kurtarılarak ayrılmasıdır. Geri dönüşümlü ürünler, yeni ürünlere (10% -%40) oranında konur. ReFiber ApS Danimarka - 25 cm × 25 cm'e kadar ön ezme, sonra pirolizde 500°C' de cam elyaf, metal ve dolgu malzemesine ayrılmasıyla, elyaf gücü % 50 zarar görmektedir. Uygulamalar yalıtım malzemelerini içermektedir. (Larsen, 2009)

Kompozit geri dönüşüm aktivitelerinin -şayet başarılı olunacaksa-teşvik ve finansal yardım gerektirdiğini kabul eden Avrupa Kompozit Endüstri Birliği (eski GPRMC) Avrupa Kompozit Geri Dönüşüm Kavramını önermektedir. Bu program altında, bu tasarımı benimseyen imalatçılardan gelen kompozitlere “Yeşil Etiket” verilecektir ve bu (yeşil etiket) bileşenlerin zamanın yaşama gereksinimleri uyarınca uygun bir şekilde geri dönüştürüleceğini garanti edecektir. Programa katılan kompozit imal eden şirketler, kompozit geri dönüşümünü Avrupa ölçüsünde yönetecek ve geri dönüştürme aktivitelerini finanse edecek fona para ödeyeceklerdir. Bu program, şu anda başlangıç safhasındadır ve ilk olarak otomotiv endüstrisindeki kompozitlere odaklanacaktır. (Pickering, 2006)

Takviyeli plastiklerin geri dönüşümü (Çevre). (Yayın: Gelişmiş Kompozit Bülteni), Publication: Advanced Composites Bulletin, 2003) bülteninin editörünün yorumuna göre: bugün çok az geri dönüşümlü kompozit parçalar olduğunu, ancak gelecekte yasanın bu durumu değiştirmek için olanak sağlayacağını düşünmektedir. Polimer üreticileri genellikle kompozit sanayi tarafından kullanılan reçineleri geliştirmek için çok çalışmakta olduğunu söylemiştir.

Avrupa Kompozit Sanayi Derneği (Groupement Avrupa DES Plastiques Renforces / Materiaux Kompozit - GPRMC) plastik takviyeli elyaf (CTP) geri dönüşüm düzeni planlarını Ağustos 2003 sunmuştur. Program altında, uygun kabul edilen CTP parçaları Avrupa atık yönergelerine uygun olarak ücretsiz olarak geri dönüştürülecektir. Parça fiyatına eklenen geri dönüştürme ücreti ve atık yönetimi hizmetlerini finanse etmek amacıyla sistem ücreti programı finanse edecektir. Geri dönüştürme ücreti (kg,sup.-1) 0.06 avro'dan uygulanacak ve yıllık olarak yeniden düzenlenir. Sistem ücreti katılımcı olan her bir şirket için yıllık 30.000 avro'dur ve GPRMC'nin söylediğine göre 30 üye şirket arasında yıllık 1 milyon avro'nun toplanması beklenmektedir. (Reinforced plastics recycling, 2003)

2.8 Teknelerin Geri Dönüşümü

Yeni tekne ve satışı için tek büyük engel kullanılmış olan dev bir fazlalık olmasıdır. Kullanılmış teknelerde fiyat; mevcut marina ve bağlama alanlarının göreceli sabit sayıda olmasından dolayı yeni tekne satışlarında büyük engeldir. Tekneler kullanılan muadili ile fiyatlandığından üreticiler yeni tekne üretemezler. Bu alan sorununu kolaylaştırmak için marinalar inşa edebilirsiniz, ama bu pahalıdır ve yapmak zordur. Bu eski tekneler için bir lağım çukuru gerekir. Piyasa, onları çıkarıp, küçük parçalar halinde öğütüp, başka bir şeyde kullanmak için onları kesmiştir. Eğer eski tekne giderse, pazar ve marinalar için otomatik olarak yeni teknelere yer açılacaktır. Yat ve küçük tekne inşa sanayi küçük ve dağınık bir denemedir, otomobil endüstrisinin büyüklüğü yanında tartışılmaz olduğu bir gerçektir. Teknenin özellikle bazı istenmeyen özellikleri olduğundan otomobilleri geri dönüştürmekten çok daha fazla zor olmaktadır. (Sponberg, bt)

2.9 Temel Geri Dönüşüm

Sponberg, (bt) temel geri dönüşümü; kapalı devre ve açık devre geri dönüşüm olarak 2'ye ayırır. Kapalı devre geri dönüşümde malzeme üreticileri, fabrikatörler veya üreticiler kendi atıklarını geri dönüştürülmeye dönüştürmekte, o formu ve kendi ürünlerini üretimde tekrar kullanabilmektedir. Çünkü nispeten yapmak kolaydır. Bu döngünün en yaygın türüdür. Açık devre geri dönüşümünde geri dönüştürülmüş

başka bir üretim tesisi veya orta işleme tesisinden itibaren üretim tesisine, dışarıdan malzeme getirilecek olmasıdır. Bunun nedeni, yeteri kadar atık malzeme toplanamamış olmasıdır, bir fiberglas üretim sektöründe gerçekten büyük ölçüde açık devre geri dönüşüm desteklenebilir, demektir. Son olarak, geri dönüştürülmüş nüfusun maksimize takviye değerini kritik bir faktör olarak nitelemektedir.

2.10 PLM (ürün ömrü yönetimi) İçinde CTP

2.10.1 CTP'nin Ürün Ömrü Yönetimi

Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM) üç esası:

Broekel ve Scharr, (2005)'e göre üreticinin optimize ürün imal etmek için, genellikle;

- 1- Materyali azaltması ve/veya gerekli malzemeyi daha verimli/etkin kullanmaları gerekmektedir. Bu, daha az malzeme maliyet, daha yüksek yük, daha az tasarım yeri ve daha iyi bir işlemeye/kullanıma yol açar.
- 2- Üretim işlemlerini optimize etmeleri gereklidir. Sonuçta, atık minimize edilmekte, üretim aşamaları daha kısa olmakta ve ürünlerin değişim ve ayarlamaları daha kolay sağlanabilmektedir.
- 3- Kapsamlı ve anlaşılabilir bir belgelemeyle destek ve kullanıcı bilgisini ve sonuçta da hızlı ve basit bir garanti iddiasını mümkün kılmayı garanti etmeleri gerekir. Boşaltım ve geri kazanım yeteneği sosyal gereksinimler için yeterli olmalıdır.

Broekel ve Scharr (2005)'e göre belli ürün yaşam evrelerinde, CTP yaygın metalik malzemelerden farklılık gösterir. Malzemenin yakın ilişkisinin bir sonucu olarak, bileşim geometrisi ve üretim teknolojisi özellikleri doğar, bu da Ürün Yaşam Süreci Yönetiminde düzenlenmesi gerektiğini savunurlar.

2.10.1.1 Ürün Geliştirme Aşamasında

Ana yük yönlerinde olabildiğince çok fiber yönlendirme amaçlı tasarımın bir sonucu olarak, anizotropik malzemeden dolayı karmaşık bir yönlendirme ortaya çıkar. Bu, bilinçli olarak genelde doğrusal olmayan sayısal analizler ve ilave deneyler olan anizotropi kuvvetlerine neden olur. Tasarımcı, iyi bilinen standartlaştırılmış bir

metalle çalışmadığının, ama tasarlanmış bir metalle çalıştığının farkında olmak zorundadır. Daha küçük malzeme kullanımına ve yüksek entegrasyona sahip daha hafif ürünler çok spesifik sertlikte ve sağlamlıkta pek çok CTP kullanmak suretiyle geliştirilebilir. Küçük duvar kalınlığına ve karmaşık şekillere sahip ürünler tek parçada üretilebilir. CTP tarafından sağlanan tüm olanaklar ürünü geliştirirken dikkate alınmalıdır. (Broekel ve Scharr, 2005)

Broekel ve Scharr, (2005)'e göre, PLM sistemi örneklerini CTP ve katıştırma sırasında yapmak gerekir, zamanı temsil eden noktalar ile tüketim inşaat aşaması oluşturulmalıdır:

*Deneylerle malzeme özelliklerinin değerlendirilmesi

*Uzunluk ve tiplerin, elyaf oryantasyonlarının ve yerleşim planlarının üretimi

*Bütün üretim süreci parametrelerinin tanımlanması

Zaman çizelgelerinin ve işlem planlamasının da dahil olduğu veri yönetim sistemi, anizotropik malzeme özellikleri, laminat planları ve yorgunluk sonuçları ve yaşlanma deneyleri gibi ilave verileri not etmek zorundadır. Gerçekleştirme aşamasında, yerleşim planları, materyal bileşenleri, kütleme basınçları ve ısıları ve soğutma zamanları v.s. gibi gerekli bilgiler üretim sürecinde hazır olmak zorundadır (çünkü, bu sadece malzeme işleme değil aynı zamanda malzeme üretmedir). Ürün kullanımı safhasında, arıza kriterleri ve malzemeye özgü çalışma el kitaplarını dikkate alan hizmet programları sağlanmalıdır. Son olarak, teknik tasarımcı parçalara ayırma ve ürün için imha planı oluşturmak zorundadır. (Broekel ve Scharr, 2005)

2.10.1.2 Üretim Aşamasında

Yönetim sisteminde üretim aşamasında, (Broekel ve Scharr, 2005) her işçi tarafından dikkate alınması gereken, malzeme talimat kartlarına verilerin kaydedilmiş olması gerektiğini belirtirler.

Broekel ve Scharr (2005), makalesine göre, kimyasal bir reaksiyonda bir malzemeye birleştirilen en azından iki bileşen nedeniyle, buna göre ürün karmaşıktır. İlaveten, yüksek standartta entegral bir yapım için gerekli olan karmaşık araç-gereçlere ve

şekillere ihtiyaç duyulmaktadır. Bütün işlem/süreç bilgisi, makine operatörleri ve üretim müdürleri için veri sistemlerinde bulunmak zorundadır. Kalite kontrol açısından, PDM sisteminde gerçek işlem parametreleri açıklanmalıdır. Bileşenler, karıştıran oran, ısıyı işleme, hava nemliliği, sertleştirme zamanları, işleme basınçları, v.s. ürünün yapısal ve optik kalitesi açısından çok önemlidir. Bir sonraki mücadele ise endüstriyel güvenliktir. CTP`yi üretmek için kullanılan reçineler ve sertleştiriciler kimyasal olarak reaktiftir ve sağlığı bozar. Bu nedenle, üretim safhasındaki herbir işçi tarafından dikkate alınmak üzere veri yönetim sisteminde malzeme eğitim kartları bulundurulmalıdır. Yeni bir biçim verme (kesme ve öğütme gibi) esnasında parça toplayıcılarından kaçınılmalıdır ve üretim planında filtre değişim araları ve araç-gereç hizmetleri mevcut olmalıdır. Bütün işlem/süreç verilerini PDM sistemine girmek suretiyle, satın alma departmanı gerekli bileşenleri tam zamanında satın alabilir ve satış departmanı ulaştırma tarihleri ve muhtemel parça ölçüleri koyabilir. Ayrıca, ideal ve gerçek işlem parametrelerini kıyaslayarak etkili bir kalite kontrol verilebilir.

2.10.1.3 Kullanım Aşaması

Ürün bütün yaşam ömründe tasarımcı tarafından tanımlanan arıza kriterlerine göre incelenmelidir. CTP durumunda ise, malzemede yerleştirilmiş sensor teknolojisi kullanılabilir. CTP üzerinde tahrip edici olmayan malzeme araştırmaları çok karmaşıktır. Bu nedenle, tasarımcı ve müşteri hizmet bürosu tam hasar kriterlerini belirlemek zorundadır, bu da yapım biriminin tamirini veya değişimini gerektirir. Arızalar genelde matris renk değiştirmelerle işaretlenir ve tabakalar halinde büyük dizilimler gibi büyük yanlışlıklar çıplak gözle görülebilir. Geri döndürülemez yaşlanma polimer malzemelerindeki moleküller arası değişiklikler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Malum değişiklikler mikroskobik hasarlara yol açar ve malzeme özelliklerinin makroskopik değişiklikleriyle birleşir. Bu yüzden, polimer eskime bakım planları, hizmet programları, tam hasar ve tamir kaydı ve tamir talimatları yoluyla PLM sistemlerinde gömülü olmalıdır. Bu bilgiler, potansiyel ikinci kullanıcılar ve tersine çevirenler için çok önemlidir, çünkü metallerin tersine CTP'nin tamiri çok çeşitli malzemeler ve işlemlerle yapılabilir. Sonuçlar çok farklı materyal kombinasyonlarıdır. (Broekel ve Scharr, 2005)

2.10.1.4 Bertaraf Aşamasında

Polimer materyallerin kısmen bilinmeyen yaşlanmasıdır. Materyal ve yaşlanma deneyleri prototiplerde araştırılabilir, ancak çevresel olası bütün etkilerin simülasyonu neredeyse mümkün değildir. UV ışını, ısı, nemlilik, mekanik ve kimyasal yükler bunların eş zamanlı oluşmaları farklı etkilere sahiptir. Bu nedenle, doğru devreden çıkarma zamanının tanımlanması çok zordur ve arıza kriterlerine (ürün kullanım safhasına) dayandırılmalıdır. Bu yüzden, uygun boşaltma tanımlanmak zorundadır ve bütün kimyasal bileşenler PLM sisteminde açık olarak dizaynı yapılmalıdır. (Broekel ve Scharr, 2005)

2.10.2 PLM Sonuçları

CTP'yi kullanırken, ürün bu tip bir materyal için uygun olmalıdır. Yüksek özellikte sertlik ve sağlamlık ve termal olarak küçük genişleme gibi kompozitin olumlu özellikleri yüksek maliyetleri ve limitli geri dönüştürme yeteneklerini düşürmek zorundadır. İlave olarak, daha karmaşık bir tasarım ve tüm yaşam ömrü üzerine zor bir güvenlik ve işlev garantisi metali CTP'yle değiştirirken doğrulanmalıdır. PLM açısından, metallerle tasarıma kıyasla CTP kullanırken özel önlemler getirilmelidir. Sadece ürün planlamasının daha sağlam ölçülendirilmesi ve imalat süreci kontrol dökümantasyonu dikkate alınmakla kalmayıp, aynı zamanda endüstriyel güvenlik gereksinimleri yerine getirilmesi, arıza kriterlerini sağlama gerekliliği ve genellikle zor atık planlanması da dikkate alınmalıdır. Bir yandan, CTP optimum olarak kullanmak için özel bir şans sunar, öte yandan CTP karmaşık bir üretim teknolojisi kullanır ve bertarafı nispeten pahalıdır.

2.11 Geri Dönüşüm Maliyeti

Uzmanlar tarafından yapılan ekonomik analizde "ortalama" tesis için 159.000 \$ üzerinde yıllık tasarruf ile 2,3 yıl geri kazanım hesaplanmaktadır. Belirtilen iki yıllık geri kazanım \$ 360,000 civarındadır, bu para makul görünse de, sıkı denetimin aşırı yararı ortaya çıkmaktadır. Geri dönüşümün faydası, geri dönüşmüş malzeme için hammadde fiyatı kullanılarak hesaplanmıştır. Geri dönüşümün hesaplanan etkin

değeri, geri dönüşümlü malzemenin ham malzeme gibi pratik ya da ekonomik olması kadar fazla değeri yoktur. (Bartholomew, 2004)

Bartholomew, (2004) kaynağından alınan uzmanlar tarafından hesaplanan hammadde fiyatları ve ortadan kaldırma maliyetleri Tablo 2.6'da gösterilmiştir:

Tablo 2.6 Temel durum atık maliyeti (Bartholomew, 2004)

	(Atık üretimi) (lbs / day)	(maliyet) (\$ / lb)	(yıllık fiyat) (\$ / yr)
reçine	635.38	0.66	104,837
katalizör	9.53	1.60	3,812
cam elyaf	216.03	1.00	54,007
filler - (dolgu)	635.38	0.06	9,531
mikrokürecik	3.69	5.00	4,606
ortadan kaldırma maliyeti	1500	0.06	22,500
toplam	1500		199,293

Yazarlar, üretilen atıkların % 80 geri dönüşeceğini belirterek malzemenin her sterlin için tüm hammadde fiyatının geri dönüşümlü olduğu iddiasıyla tasarruf olan değerleri basit bir çarpma ile Tablo 2.6'nın (fiyatlar hariç) %20'si Tablo 2.7'de göstermişlerdir. (Bartholomew, 2004)

Tablo 2.7 Abartılı (şişirilmiş) maliyeti kullanarak geri dönüşüm kazançlı atık maliyeti (Bartholomew, 2004)

	(Atık üretimi) (lbs / day)	(maliyet) (\$ / lb)	(yıllık fiyat) (\$ / yr)
reçine	127.08	0.66	20,967
katalizör	1.91	1.60	762
cam elyaf	43.21	1.00	10,801
filler - (dolgu)	127.08	0.06	1,906
mikrokürecik	0.74	5.00	921
ortadan kaldırma maliyeti	300	0.06	4,500
toplam	300		39,859

Bartholomew, (2004)'e göre bu analiz ile sorun; geri dönüşümlü malzemeyi, tamamen ham malzeme varsayarak değiştirebilir ve bunu ham malzeme fiyatını geri dönüşümlü malzeme tasarrufu olarak iddia etmekten kaynaklanabilir, denmektedir. Bu durum fiziksel veya ekonomik durum sonucu değildir. Fiziksel olarak geri dönüşümlü malzemeyi oluşturan reçine içerik zaten katı ve çapraz bağlantılı değildir. CTP imalat ondan çapraz bağlantılı değil, sıvı reçine gerektirir. Faydalı talep fiyatı

bir fark bu fark, fayda hesaplanmasında iddia edilmiştir. Aynı şeyler fiberglas için de geçerli olduğu belirtilmiştir.

Bartholomew, (2004)'e göre, işlenmemiş cam elyaf uzun ve kırılmamış tellerden oluşur, bitmiş ürüne göre daha iyi mukavemet dayanımlıdır. Elyaf geri dönüşümlü malzemede lif içeriği kısa, çatlamış elyaflardan oluşur, ancak bu yaklaşık olarak işlenmemiş elyaf kadar mukavim olmaz. Geri dönüşümlü CTP'nin sadece fiziksel olarak dolgunun yerini tutma potansiyeli vardır. Yine, geri dönüşümlü ürünün azaltılmış fiziksel faydası, ham malzeme için bir fayda-maliyet analizi yapmaya kıyasla daha düşük bir fiyat ister. Maliyet yapısının doğru analizi geri dönüşüm yapılmasından sonra Tablo 2.8'de gösterilmektedir.

Tablo 2.8 Geri dönüşüm kullanarak atıkların düzeltilmiş maliyeti (Bartholomew, 2004)

	(Atık üretimi) (lbs / day)	(maliyet) (\$ / lb)	(yıllık fiyat) (\$ / yr)
Reçine	635.38	0.66	104,837
katalizör	9.53	1.60	3,812
cam elyaf	216.03	1.00	54,007
filler - (dolgu)	0.00	0.06	0
mikrokürecik	0.00	5.00	0
ortadan kaldırma maliyeti	0	0.06	0
toplam	861		162,656

Bu analiz tüm dolgu ve mikroküreciklerini yerine koymak, yenisiyle değiştirmek bakımından, geri dönüşümlü hurda varsayar ve bertaraf (ortadan kaldırma) maliyetlerini sıfır maliyete azaltır. Böylece reçine, katalizör ve camelyaf maliyetleri aynı kalır. Bu durumda geri dönüşümün net faydası \$ 37,000 yıllık (199, 293\$ temel durumda - 162.656 \$ geri dönüşüm durumunda) altındadır. Hatta bu aşırı iyimser varsayımına göre 360.000 \$ sermaye yatırımıyla yaklaşık on yıllık bir geri kazanım sağlanır. Geri dönüşüm durumuna karşı fırsat olarak, hammadde maliyet kazançları bakımından kirliliğin önlenmesi gelir. Bunun nedeni eğer hurda üretilmemişse, kurtarılan hammadde hala ham formda bulunmaktadır. En iyi CTP üretim kirlilik önleme yöntemlerinin bir tanesi de vakum infüzyonu veya reçine transferi kalıplama gibi kapalı kalıp teknolojisidir. Kapalı kalıp ekonomik potansiyelini anlatmak için, bu imalat tekniğinin açık kalıba kıyasla malzeme tüketimini parça başına % 5 azaltarak imalat yapılması varsayımı yapılabilir, bu tahminde geçmiş tecrübeler

dayanmaktadır. Bu da demektir ki, bu örnekte üretim için (4500 lb), kirliliğin önlenmesi teknikleri için ihtiyaç duyulan hammaddeyle 5700 lb (1kg=2.20462 libre), temel durum 6000 lb'den daha iyidir. Bu sonuçlar 1200 lb atığa (5700 Ham - 4500 ürün) karşılık olarak, 1500 lb atık durumu söz konusudur. Tablo 2.9 kapalı kalıp atık maliyet hesaplamayı gösterir. (Bartholomew, 2004)

Tablo 2.9 Kapalı kalıp kullanarak atık maliyeti (Bartholomew, 2004)

	(Atık üretimi (lbs / day))	(maliyet) (\$ / lb)	(yıllık fiyat) (\$ / yr)
reçine	508.30	0.66	83,870
katalizör	7.62	1.60	3,050
cam elyaf	172.82	1.00	43,206
filler - (dolgu)	508.30	0.06	7,625
mikrokürecik	2.95	5.00	3,685
ortadan kaldırma maliyeti	1200.00	0.06	18,000
toplam	1200		159,435

Temel durumda atık maliyeti (Tablo 2.6) 199.293 \$'dür. Kapalı kalıp senaryosu Tablo 2.9 gösterildiği gibi, \$ 159.435 den, toplam maliyet çıkarıldığında yaklaşık 40.000 \$ net fayda verir. Bu kabaca maliyetini azaltma geri dönüştürme senaryosu için aynen hesaplanır. (Tablo 2.8'ye) bakınız. Yatırım maliyeti de kapalı kalıp senaryosu için geri kazanım hesaplamak için gerekebilir, ancak büyük olasılıkla geri dönüştürme durumunda on yıllık geri kazanım \$360,000 üzerindedir. Aslında CTP satılan yerlerde, açık kalıplamadan, kapalı kalıplamaya geçiş var, % 10'a yakın hammadde tasarrufu göstermiştir ve yaklaşık iki yıllık geri kazanım var. Geri dönüşüm senaryosu için sorun olmayan, kapalı kalıp da çok düşük hava emisyonunun faydası vardır. Son olarak, kirliliğin önlenmesi için CTP hurda geri dönüşüm konusunda uzman olmayı gerektirmeyen, sadece mevcut üretim yöntemlerinde bazı değişiklikler gerektirir. (Bartholomew, 2004)

Bartholomew, (2004)'e göre, CTP hurda geri dönüşüm bazı durumlarda mantıklıdır. Ancak, bu seçenek ekonomik ve çevre açısından değerlendirilerek seçilmeli, atık üretimini azaltmak için uygulanmalıdır.

Özetle:

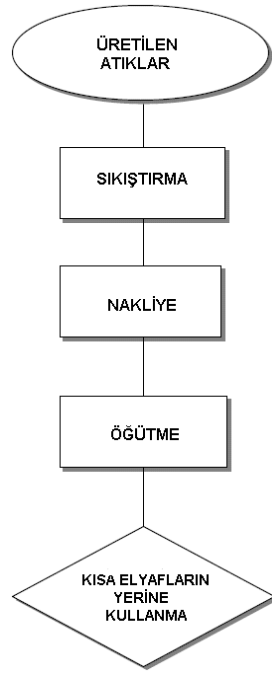
Bartholomew, (2004) kaynağına dayanarak CTP hurda ile geri dönüşümü dikkate aldığımızda üç ana konu ortaya çıkar:

1. teknik işlem yöntemleri
2. nakliye ve lojistik
3. ekonomi

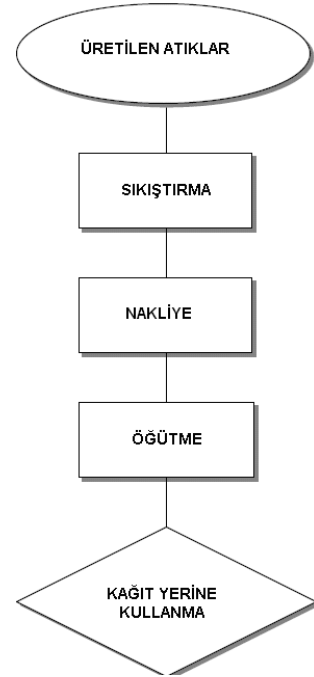
Teknik yöntemler termoset malzeme süreci için gereklidir, hatta bunlar takviye elyaf içerir, bu da laboratuvar ve pilot düzeyde test edilmiş, ispatlanmıştır. Mekanik geri dönüşüm en basit, gelişmiş seçenek gibi görünür. CTP hurda içinde aşırı katalizör ve bileşenlerin oda sıcaklığında birleşmesine ilave olarak mekanik geri dönüşüm; güvenlik tehlikeleri ve önceden bilinmeyenler nedeniyle ek sorunları vardır. Atıkların termal ve kimyasal işlemleri daha yüksek değerde son ürün potansiyeline sahiptir, ancak aynı zamanda daha fazla sermaye yatırımı gerektirir. Ayrıca, bu alternatif yöntemlerden çevre için hangisinin ne ölçüde daha iyi olduğu belirsizdir. Taşımacılık ve lojistik, büyük bir sorun teşkil edeceğe benzemektedir. Özellikle Minnesota'da yapılan CTP fabrikasyona karşılık hurda üretimi coğrafi konsantrasyon olmayarak gerçekleşmektedir. Merkezi tesis inşa edildi ve RJ Marshall Firma Detroit tarafından işletilen yüksek kaliteli hurdada çok yüksek coğrafi konsantrasyon vardı, ama yine de son ürüne olan talep yetersizliği nedeniyle başarısız olmuştur. (Bartholomew, 2004)

Sürdürülebilir CTP geri dönüşüm düzeninin ekonomik açıdan yaşatılabilir olması gerekir. CTP hurda geri dönüşümü, benzersiz teknolojiye sahip olmasına karşın bazı özel sorunlar teşkil etmektedir. Bazı durumlarda geri dönüşmüş hurdayı, CTP satılan yerlere vermek mantıklı olabilir, ama teknik ve ekonomik zorlukları tam olarak anlamak önemlidir. Ayrıca ilk önce hurdanın tam fırsatlarıyla yaratımını önlemek için, değerlendirmek önemlidir, çünkü kirliliğin önlenmesi, genel olarak çevre için daha hayırlıdır. Minnesota Teknik Yardım Programı kirliliğin önlenmesi veya CTP geri dönüşümü sektöründe özel fırsatları değerlendirmek için size yardımcı olmakta kullanılabilir. (Bartholomew, 2004)

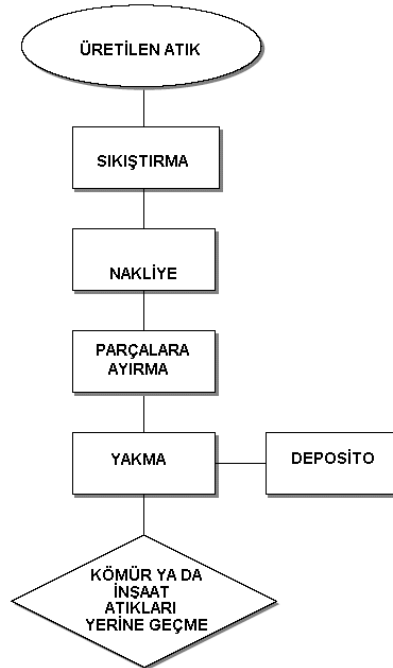
HEDLUND-ÅSTRÖM (2005) hazırladığı doktora tezinde yazdığı örnek SMC mekanik malzeme geri dönüşüm senaryosunu incelersek:



**senaryo C1- SMC mekanik malzeme
geri dönüşümü**



**senaryo C2-SMC mekanik malzeme
geri dönüşümü**



**senaryo C3-SMC atık yakmayla enerji geri kazanımı
HEDLUND-ÅSTRÖM (2005)**

C1- SMC imalat atıklarının mekanik malzeme geri dönüşümü yapılarak ham dolgu veya cam elyaf yerine kullanılması (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

nakliye 0 km

	CO ₂	NO _x	SO _x	çevresel etki	maliyet	yorumlar
	kg	kg	kg	ELU	SEK	
Yapılan işler						
öğütme	0.021	0.00005	0.0001	0.006	5.00	(1)
Geri dönüşen malzeme	0.021	0.00005	0.0001	0.006	5.00	
ham filler (dolgu) yerine	0.11	0.0004	0.0001	0.0226	1.00	(2)
geri dönüşmüş/filler				0.27	5.00	
geri dönüşmüş-filler				-0.02	4.00	
geri dönüşmüş kısa ham cam elyaf yerine	2.07	0.005	0.013	0.329	30.00	(3)
geri dönüşmüş/cam elyaf				0.02	0.17	
geri dönüşmüş-cam elyaf				-0.32	-25.00	

nakliye 200 km

	CO ₂	NO _x	SO _x	çevresel etki	maliyet	yorumlar
	kg	kg	kg	ELU	SEK	
Yapılan işler						
sıkıştırma	0.005	0.00001	0.00003	0.0015	0.41	(4)
ulaşım 200 km	0.017	0.0001	0.00002	0.0049	0.28	(5)
öğütme	0.021	0.00005	0.0001	0.006	5.00	(1)
Geri dönüşen malzeme	0.043	0.00016	0.00015	0.0124	5.69	
geri dönüşen filler/dolgu	0.11	0.0004	0.0001	0.0226	1.00	(2)
geri dönüşmüş/ham filler				0.55	5.69	
geri dönüşmüş-filler				-0.01	4.69	
ham kısa cam elyaf yerine kullanma	2.07	0.005	0.013	0.329	30.00	(3)
geri dönüşmüş-cam elyaf				0.04	0.19	
geri dönüşmüş - cam elyaf				-0.32	-24.31	

nakliye 400 km

	CO ₂	NO _x	SO _x	çevresel etki	maliyet	yorumlar
	kg	kg	kg	ELU	SEK	
Yapılan işler						
sıkıştırma	0.005	0.00001	0.00003	0.0015	0.41	(4)
ulaşım 400 km	0.034	0.0002	0.00005	0.0099	0.42	(5)
öğütme	0.021	0.00005	0.0001	0.006	5.00	(1)
geri dönüşen malzeme	0.06	0.00026	0.00018	0.0174	5.83	
geri dönüşen ham filler (dolgu)	0.11	0.0004	0.0001	0.0226	1.00	(2)
geri dönüşmüş/filler				0.77	5.83	
geri dönüşmüş-filler				-0.01	4.83	
ham kısa elyafların yerine kullanma	2.07	0.005	0.013	0.329	30.00	(3)
geri dönüşmüş/cam elyaf				0.05	0.19	
geri dönüşmüş-cam elyaf				-0.31	-24.17	

C2- SMC imalat atıkların mekanik malzeme geri dönüşümü yapılarak, kağıt yerine kullanılması (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

nakliye 200 km

	CO ₂	NO _x	SO _x	çevresel etki	maliyet	yorumlar
	kg	kg	kg	ELU	SEK	
Yapılan işler						
sıkıştırma	0.005	0.00001	0.00003	0.0015	0.41	(4)
nakliye 200 km	0.017	0.0001	0.00002	0.0049	0.28	(5)
öğütme	0.021	0.00005	0.0001	0.006	5.00	(1)
Geri dönüşen malzeme	0.043	0.00016	0.00015	0.0124	5.69	
ham kağıt yerine kullanma	0.137	0.0011	0.00013	0.0482	6.44	(6)
geri dönüşmüş-kağıt				0.26	0.88	
geri dönüşmüş-kağıt				-0.03	-0.75	

Nakliye 400 km

	CO ₂	NO _x	SO _x	çevresel etki	maliyet	yorumlar
	kg	kg	kg	ELU	SEK	
Yapılan işler						
sıkıştırma	0.005	0.00001	0.00003	0.0015	0.41	(4)
nakliye 400 km	0.034	0.0002	0.00005	0.0099	0.42	(5)
öğütme	0.021	0.00005	0.0001	0.006	5.00	(1)
Geri dönüşen malzeme	0.06	0.00026	0.00018	0.0174	5.83	
ham kağıt yerine kullanma	0.137	0.0011	0.00013	0.0482	6.44	(6)
geri dönüşmüş-kağıt				0.36	0.90	
geri dönüşmüş-kağıt				-0.03	-0.61	

C3- SMC imalat atıkları yakmayla Enerji geri kazanımı yapılarak atık kömür veya inşaat atık yerine kullanılması (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

Nakliye 200 km

	CO ₂	NO _x	SO _x	çevresel etki	maliyet	yorumlar
	kg	kg	kg	ELU	SEK	
Yapılan İşler						
sıkıştırma	0.005	0.00001	0.00003	0.0015	0.41	(4)
nakliye 200 km	0.017	0.0001	0.00002	0.0049	0.28	(5)
küçük parçalara ayırma	0.03	0.0002		0.0099		(7)
yakma	0.887	0.0003	0.0002	0.0971	0.50	(8)
deposito				2.00E-04		(9)
TOPLAM	0.939	0.00061	0.00025	0.1136	1.19	
kömür yerine kullanma	0.89	0.0016	0.0135	0.1582		(10)
toplam-kömür				0.72		
toplam / kömür				-0.045		
inşaat atık yerine	0.0041	0.0007	0	0.0026		(11)
toplam / inşaat atık				43.69		
toplam-inşaat atık				0.11		

Nakliye 400 km

	CO ₂	NO _x	SO _x	çevresel etki	maliyet	yorumlar
	kg	kg	kg	ELU	SEK	
Yapılan işler						
Sıkıştırma	0.005	0.00001	0.00003	0.0015	0.41	(4)
nakliye 400 km	0.034	0.0002	0.00005	0.0099	0.42	(5)
küçük parçalara ayırma	0.03	0.0002		0.0099		(7)
yakma	0.887	0.0003	0.0002	0.0971	0.50	(8)
deposito				2.00E-04		(9)
TOPLAM	0.956	0.00071	0.00028	0.1186	1.33	
kömür yerine kullanma	0.89	0.0016	0.0135	0.1582		(10)
toplam/kömür				0.75		
toplam-kömür				-0.04		
inşaat atık yerine	0.0041	0.0007	0	0.0026		(11)
toplam/inşaat atık				45.61		
toplam-inşaat atık				0.12		

HEDLUND-ÅSTRÖM (2005), doktora tezinden alınan tablolarda geçen yorumların anlamları şu şekildedir:

(1) Enerji tüketimi testlerinden, 0,044 kWh / kg EPS 2000'nin, çevre etkisinden bulunmuştur. Maliyet; granülatör (granül makinesi), personel, bakım ve hazırlama bileşenlerini içerir.

MALZEME	MALİYET/KG
CFRP	30
GRP-sandwich	1
PVC-core	1
SMC	5
GMT	1
PP/Flax	1

Şekil 2.25 Elyaf kompozit öğütmesinin kg başı maliyetleri
(HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

(2) Ham dolgu (filler) üretimi, EPS 2000'nin çevre etkisinden maliyet bilgisi H. Bernlind, Polytech AB den edinilmiştir.

(3) Ham cam elyaf üretimi, EPS 2000'nin çevre etkisinden maliyet bilgisi H. Bernlind, Polytech AB den edinilmiştir

(4) Maliyete personel, enerji dahildir, enerji tüketimi 0,039 MJ / kg, bilgisi L-O Andersson, Polytech AB. EPS 2000'nin çevre etkisinden edinilmiştir.

(5) Uzun mesafe taşımacılığı, EPS 2000'nin çevre etkisinden, maliyet Schenker - BTL AB, 28 ton üzerinden edinilmiştir.

(6) Maliyet bilgisi R. Haraldsson, Perstorp AB den, çevre veri bilgisi B. Steen, CTH ENV. EPS 2000 gelen etkiden bulunmuştur.

(7) Dizel tüketim kesme, parçalara ayırma, 0,0083 kg / kg, bilgisi S. Englund, Norsaverket'den, EPS 2000'nin çevre etkisinden edinilmiştir.

(8) Emisyonlar temel kompozisyonundan hesaplanmaktadır. Çevre etkisi EPS 2000'den (tablo alttaki özelliklerden), maliyet; ezme yakma, karıştırma ve mevduat (deposito) içerir, S. Englund, Norsaverket'den gelen bilgiden edinilmiştir.

Tablo 2.10 Kompozit malzeme yanmasından hesaplanan emisyonlar (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

Material	C [%]	CO ₂ [kg]	N [%]	NO _x [kg]	S [%]	SO _x [kg]	ELU/kg
CFRP	92.7	3.39	1.3	0.0043	0.01	0.0002	0.37
Sandwich	45.8	1.679	0.2	0.0007	0.01	0.0002	0.18
PVC	55.1	2.019	5.1	0.0174	0.12	0.0015	0.26
SMC	24.2	0.887	0.1	0.0003	0.01	0.0002	0.0971
GMT	52.6	1.93	0.1	0.0003	0.03	0.0006	0.209
PP/Flax	78.1	2.86	0.2	0.0007	0.02	0.0004	0.3117
GMT-pellets		1.703		0.00213		0.0019	0.1909
PP/Flax-pellets		1.796		0.00217		0.0017	0.20117

(9) testlerden EPS 2000'nin çevre etkisinden Kül içeriği% 72,6, seçilmiştir. bkz:

Tablo 2.11 (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

Tablo 2.11 Depolanan külün çevresel etkisi (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

Material	Ash content [%]	Environmental impact, landfill [ELU]
CFRP	9.65	2.19E-5
GRP-sandwich	31.6	1.00E-4
PVC-core	0.5	1.14E-6
SMC	72.6	2.00E-4
GMT	38.9	1.00E-4
GMT/wood pellets	4.34	1.00E-5
PP/Flax	1.3	2.95E-6
PP/Flax/wood pellets	0.58	1.32E-6

(10) 1 kg SMC'de, 0,27 kg kömür yerine geçer.

Tablo 2.12 Isıl değerleri ve yakıt yerine geçen miktarlar (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

Material	Heat value [MJ/kg]	Amount coal replaced [kg]	Amount build. waste replaced [kg]
Coal (replaced)	27.2		
Building waste (replaced)	16.8		
CFRP	31.7	1.16	1.89
GRP-sandwich	21.0	0.77	1.25
PVC-core	25.0	0.92	1.49
SMC	7.5	0.27	0.45
GMT	25.2	0.93	1.50
PP/Flax	34.0	1.25	2.02
Wood pellets	20.0		
GMT/wood pellets	20.5	0.75	
PP/Flax/wood pellets	21.4	0.79	

(11) 1 kg SMC'de 0,45 kg inşaat atıkları yerine geçer, Tablo 2.12 EPS 2000 çevresel etkisinden alınmıştır.

2.12 Tartışma ve Gelecekteki Araştırmalar

Kompozit malzemeler için ana atık arıtma yöntemi bugün depolamadır. İkinci olarak, atık yakma gelir, özellikle üretimden gelen atıklarından olmasıdır. Diğer yöntemler araştırma aşamasında olup tam ölçekli uygulama çalışmaları piroliz ve çimento üretimde vardır. Özellikle gelecekteki olası yöntemleri ve atık polimer iyileştirme yöntemlerinde mevcut olan bilgi ile her adım için gerekenleri eklemek için olası bir yöntem bulmak istersiniz. VAMP 18 proje araştırması içinde yaşam sonu kompozit atık iyileştirme sonu için maliyet ve çevre etkisi çalışması yapıldı. Bu çalışmalar pek incelenmediğinden genellikle kompozit atık geri dönüşümünü dikkate almak neredeyse imkansız olarak kabul edilir. Bu da kompozitleri büyük bir ölçekte kullanmadığımızın bir nedenidir. (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

HEDLUND-ÅSTRÖM, (2005), tavsiyeler yalnızca fiyat ve çevre analizine dayanmaktadır, der. Bunlar genellikle, geri dönüşmüş malzemenin, ham malzeme yerine kullanıldığını varsayılarak, daha düşük maliyet ve çevresel etkide sonuçlanabilecek bir enerji geri kazanımı ile karşılaştırıldığında, kömürün yerine kullanılmasına dayanmaktadır. Mekanik malzeme geri dönüşümü, atık yakmayla enerji geri kazanımı ile kıyaslandığında (aynı nakliye uzunluğunda), ham malzeme yerine kullanıldığı düşünülmediğinden ve yakıtın çevre etkisi sebebiyle malzeme geri

dönüşümüne göre azdır, fakat maliyeti yüksektir. Yüklenici öğütme giderlerini düşünmez, malzeme geri kazanım ve enerji geri kazanımı için maliyet farkı daha da yüksek olacaktır. Şu anda atık yakma maliyeti belki de yakın gelecekte daha sonraya kıyasla, malzeme geri dönüşüm için uygun olacaktır. Ancak, ham materyalin önerilen yerine, hesaplanan malzeme geri dönüşümü göz önünde tutulursa yakıt maliyeti genellikle karbon elyaf kompozit için özellikle bir maliyet yerine gelir olacaktır. Geri dönüşümlü malzeme ve ham malzeme arasındaki değiş tokuş faktörü bir olacak şekilde ayarlanır. Bu kalitenin bozulması ve mekanik özelliklerin azaltılması nedeniyle özellikle mekanik malzeme geri dönüşümü doğru değildir. Birçok malzeme ham malzeme gibi aynı mukavemete ihtiyaç duyar. Bunun sonucunda çevresel etkide bir artış meydana gelir ve atık yakma ile enerji geri kazanımı karşılaştırıldığında fark azalmasına yol açacaktır. (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

İyileştirme adımlarında sökölme, kesme, parçalara ayırma vb. ve iyileştirme bir aradadır, her adımı takip etmek için metal kalıplar içinde gerekli kalıp bilgisi, paneller veya kimya boyutu, bu özel süreç adımları içinde yine bilgi gereklidir. Bu model açıkça gerçek süreç için ilgili atık özellikleri bilmenin önemine dikkat çeker. Ancak, her bir iyileştirme yöntemi ve farklı işlem zincirlerindeki adımlar için gerekli şartlar bilgi ve atık özellikleri ile farklılık gösterir. (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

HEDLUND-ÅSTRÖM (2005), bu Visby Class Corvette tekneleri yöntemlerden mümkün olduğunca model uyguladıktan sonraki tavsiyeleri maliyet analizi ve çevresel etkinin dikkate dayalı değerlendirilmesi gerektiğini yazar. Malzeme geri dönüşümü için önerilen alternatif, gemi teknesinin büyük miktarda karbon elyaf içermesinden dolayı iyi sonuçlar vermesidir. Sonraki soru bu üretilenin, maliyetler, atık miktarı vb gibi dış faktörlere bakarak mümkün olup olmadığıdır. Üzerinde çalışılan tekne yapısı değildir, yakın gelecekte bertarafı için hemen bulunan bir şey olmasıdır? Ancak, gelecekte, yöntem ve teknoloji ihtiyacı malzeme geri dönüşümü için bulunacaktır. Neyse ki, hem yakma ve hem de kimyasal geri dönüşümdeki, mevcut bilgi, zaten artık rekabetçi alternatifler yapısı ile ilgili temel olabilir. Bu sandviç tekne gövdesi pazarı için mekanik malzeme geri dönüşümü önemli bir temel

olarak, daha büyük miktarlarda olması gerekmektedir. Yakma ve hidrolizi ile kimyasal kurtarma yoluyla her iki yöntemdeki enerji geri kazanımlı atık, farklı türde kullanma yeteneği süreçlerinde ekonomik ve çevre noktasından mümkün olarak vardır. (HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005)

HEDLUND-ÅSTRÖM, 2005'e göre, gelecek araştırmada şunlar yapılmalı:

- Atık yönetiminde eğer mümkün olan her adım için tüm ilgili bilgiler sürecin başlangıcı ve süreç zinciri, yakından optimize edilebilirse kontrol edilir.
- Geri dönüşüm dizaynı yapılırken birçok olasılık dizayn sürecinde üretim sırasındaki gerekli bilgilerle beraber düşünülmelidir. Pazarlama ve metal kalıplamada standartlaştırma, parçaları ayıranlara yardımcı olur.
- Fonksiyonel malzeme
- Farklı polimerik malzeme için uyumluluk
- Çevre çalışma sorunları - elyaf, toz

Broekel ve Scharr, (2005)'e göre ise, CTP ürün istihdam ile uygun olmalıdır. Ayrıca daha karmaşık yapı ve güvenlik ve fonksiyonu gibi zor bir garantisi vardır. Tüm ömrü üzerinde CTP, metal yerine haklı olmak zorundadır. Sadece ürün planlama, dökümantasyon ve imalat işlem kontrolünün dikkate alınması gerekmez, aynı zamanda endüstriyel güvenlik gereklerini, hata yaratan kriterleri ve genellikle zor atma ile planlamanın yerine getirilmesi gerekir. Bir taraftan özel şansı kullanmak için teklif edilen optimal malzeme CTP, diğer taraftan karmaşık üretim teknolojisi ve nispeten pahalı bertarafıdır.

Recycling, Network group for composites in construction, (bt) ise, bu tür atık mevzuatı, atık hiyerarşisi ile ilgili açık, odaklanır nedenle geri kazanım ve yeniden kullanım ile CTP atık yönetimi çözümleri hakkında daha fazla baskı olacağını düşünmektedir. CTP tedarikçileri, CTP bileşenleri yaşam sonu ürünlerinin geri dönüşümünü ya da yeniden kullanımını temin etmenin yolunu bulmazlarsa metal ve diğer sanayi ve pazar paylarını kaybedebilirler. (Recycling, Network group for composites in construction, bt)

2.13 Asfalt

Petrol; gaz , sıvı ve katı halde bulunan hidrokarbonlara verilen genel addır. Sıvı hidrokarbonlara ham petrol, gaz halindekilere doğal gaz, katı olanlara ise bileşimlerine göre asfalt-parafin veya **bitüm adı verilmektedir.** (Asfalt Nedir?,bt)

Yer kabuğundan çıkarılan ham petrol, içinde bulunan tuzlu suyun ayrılması amacıyla depolanır. Depolanan petrol belirli bekleme süresinden sonra genellikle boru hatları ile rafinelere pompalanır. Rafineride petrol, cinsine uygun bir rafine işlemine tabi tutulur. Bu işlem bir ayırıcılı damıtma işlemidir. (Bitümlü Malzemelerin Tanımı, bt)

Kuyudan çıkarılan ham petrolün damıtma işleminden sonra bileşenlerine ayrılmasıyla asfalt, parafin, benzin v.s. elde edilir. Bu işlemden sonra da normal hava sıcaklığında kullanılmayacak kadar katı olan bitüm; benzin, mazot, gazyağı ve bunlardan farklı bir teknik olan su ile karıştırılarak inceltir ve kullanılacak hale getirilir. Bu son aşamada asfalt, zemin kaplamalarında kullanılmaya hazırdır. (Asfalt Nedir?,bt)

1 TON PETROLDEN HANGİ ÜRÜN NE KADAR ÇIKIYOR?

Kabaca 1 metrik ton (1 ton=1.016 metrik ton. Ya da 1 metrik ton= 7.56 varil) hampetrolden; % 65'i beyaz (benzin, dizel ve jet yakıtı), %27-28'i siyah ürün (fuel oil ve asfalt) üretilmektedir. (Asfalt Nedir?,bt)

Asfaltı ilk olarak Mezopotamyalılar tapınaklardaki banyo ve su depolarının yalıtımında kullanmışlardır. Eski Mısırlılar da Nil nehri boyunca erozyonu engellemek amaçlı kaptıkları kaya setlerinin birleşim harcı olarak asfalt kullanmışlardır. Yol malzemesi olarak asfaltın kullanımı Babilliler döneminde olmuştur, (M.Ö.625). 1595 yılında Venezuela yakınlarında Trinidad Adası'ndaki göl çamuru doğal asfalt olarak tanımlanmış ve gemilerin su yalıtımında kullanılmıştır. 1800 başlarında John McADAM kırmataş ve zift kullanılarak ilk yolu yapmıştır. 1871 yılında ilk sıcak karışım asfalt üretimi gerçekleştirildi. 1907 yılında rafine petrol bitümü kullanılarak ilk asfalt üretildi. 1955 yılında Ulusal Asfalt Kaplamaları Birliği (NAPA) kuruldu.

1956 yılı ise bir dönüm noktası asfalt sektöründe; elektronik duyargalı finişer ve silindir ilk kez bu yıl içerisinde kullanılmıştır. (Asfalt Nedir?, bt)

Asfaltın kimyasal yapısı, hidrokarbonların kompleks bir karışımıdır. (Bitümlü Malzemeler, bt)

Tezel ve Karacadağ (2007)'e göre, asfalt çimentosu ise katı veya yarı sıvı yapışkan bir madde olup; yol ve su inşaatlarında kullanılır. Asfalt veya işlenmiş haliyle asfalt çimentosu doğada bulunabileceği gibi büyük çoğunlukla petrol rafine işleminin bir yan ürünü olarak elde edilir. Ancak içinde yaklaşık olarak aşağıdaki oranlarda şu elementler bulunur.

C.....%70-85
H.....%7-12
N.....%0-1
S.....%1-7
O.....%0-5

C/H oranı asfaltın davranış ve özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Bu oran düştükçe asfaltın moleküler ağırlığı ve viskozitesi de düşer. Kolloidal bir yapıda bulunan asfaltın yapısal elemanlarının Şekil 2.26'de görüldüğü gibi bileşenlerden oluşmaktadır. (Bitümlü Malzemeler, bt)

Tezel ve Karacadağ (2007)'e göre C/H oranlarına göre asfalt yapısal eleman özellikleri şöyledir:

Asfaltinler-C/H oranları 0.8 den büyük, siyah, sert, geniş, yüksek moleküler ağırlıklı, viskoz hidrokarbon molekülleri.

Rezinler- C/H oranları 0.4-0.8 arasında değişen, orta moleküler ağırlık ve orta viskozitesi olan hidrokarbon molekülleri.

Yağlar-C/H oranları 0.4 den küçük en hafif moleküler ağırlıkta, en açık renkte ve en az viskoz hidrokarbon molekülleri.

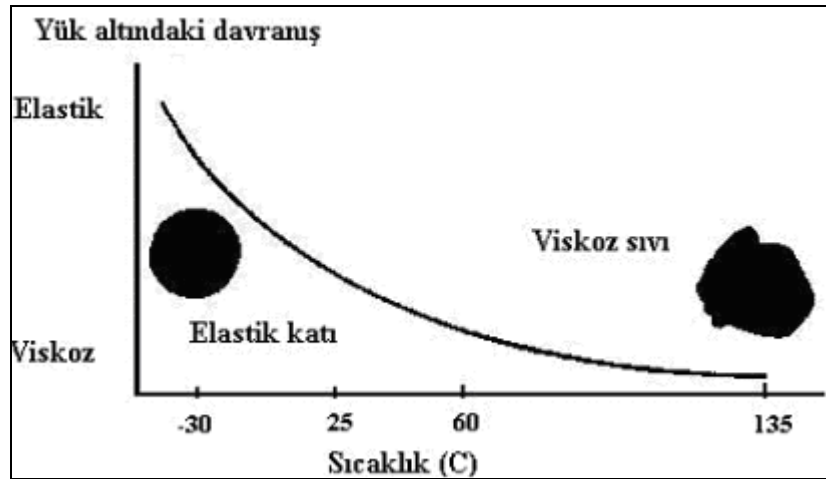


Şekil 2.26. Asfaltın bileşimi (Tezel ve Karacadağ, 2007)

2.14 Doğal Asfalt

Bitümlü doymuş kalkerlerdir. Kuyulardan ve göllerden çıkarılırlar. Kaya asfaltları ise; kum taşı veya kalker taşı gibi taşların, boşluklarına sızmış olarak bulunurlar. Yol yapımında kullanılırlar. İçinde %40 bitüm, %30 su, %30 bitkisel ve madensel maddeler vardır. Bu maddeler 160°C ısıtılıp, suyu buhar haline getirilip piyasa asfaltı elde edilir. (Bitümlü Malzemeler, bt)

Asfalt viskoelastik bir malzemedir. Yani hem akıcı, hem de elastik (yüklemeden sonra eski şeklini alabilen) davranış gösterebilir. Şekil 2.27’te görüldüğü üzere; düşük sıcaklıklarda elastik özelliklere sahip olan asfalt, yüksek sıcaklıklarda viskoz bir sıvı haline gelmektedir. (Arıkan Öztürk ve Çubuk, 2004)



Şekil 2.27 Asfaltın sıcaklığa göre yük altındaki davranışı (Arıkan Öztürk ve Çubuk, 2004)

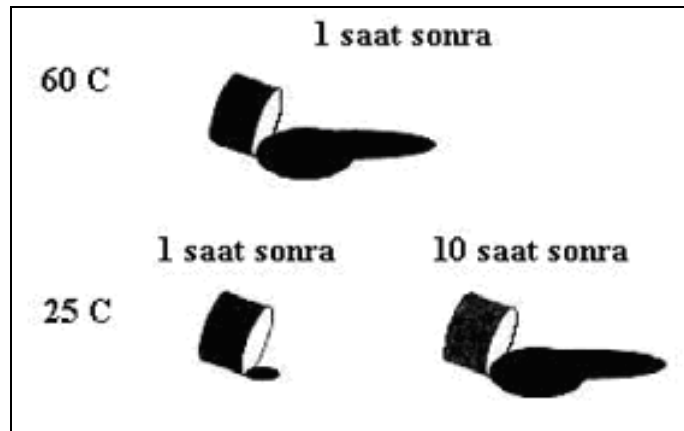
Kuloğlu (2000)’nin belirttiği gibi, bitümün elastik rijitliğine etki eden parametreler; yükün etki süresi, penetrasyon indeksi, yumuşama noktası ve sıcaklıktır. Bitümün plastik rijitliğine etki eden parametreler ise viskozite ve yükün toplam etki süresidir.

Yüksek sıcaklıklarda asfaltın davranışı: Asfalt çimentosu kıvamlı bir sıvı gibi davranır. Sıcak asfalt gibi viskoz sıvılar, akmaya başladıklarında, soğuma olsa bile eski durumlarına gelemedikleri için plastik olarak nitelendirilirler. (Arıkan Öztürk ve Çubuk, 2004)

Düşük sıcaklıklarda asfaltın davranışı: Asfalt çimentosu düşük sıcaklıklarda elastik katı davranış sergilese de, aşırı yüklendiğinde kırılabilir veya çatlayabilir. Asfalt kaplamalarda soğuk havada, düşük ısı nedeniyle kaplama yüzeyinin büzülme çalışmasının ortaya çıkardığı gerilmelerin neden olduğu ısı çatlakları görülür. (Arıkan Öztürk ve Çubuk, 2004)

Orta sıcaklıklarda asfaltın davranışı: Pek çok çevre koşulları aşırı sıcaklar ile aşırı soğuklar arasındadır. Bu tür iklime sahip bölgelerde asfalt, hem kıvamlı sıvı hem de elastik katı özellikler sergiler. Bu nedenle asfaltın davranışı viskoelastik olarak değerlendirilir. Yani sıcaklık ve yük/yükleme hızına bağlı olarak hem elastik hem de viskoz özellikler taşır. (Arıkan Öztürk ve Çubuk, 2004)

Kısacası Arıkan Öztürk ve Çubuk (2004)'e göre, asfaltın davranışı, maruz kaldığı sıcaklık ve yük/yükleme hızına göre değişiklik gösterir. Yavaş yüklemenin (yavaş hareket eden veya duran trafik yükleri) yapacağı etkiyi yüksek sıcaklıklardaki davranışla, hızlı yüklemeyi ise düşük sıcaklıklardaki davranışla temsil etmek mümkündür. Şekil 2.28'de görüldüğü gibi, asfalt çimentosundaki 60°C'de 1 saatlik akış miktarı ile 25°C'deki 10 saatlik akış miktarı birbirine eşdeğerdir .



Şekil 2.28 Asfaltın zaman ve sıcaklığa göre davranışı (Arıkan Öztürk ve Çubuk, 2004)

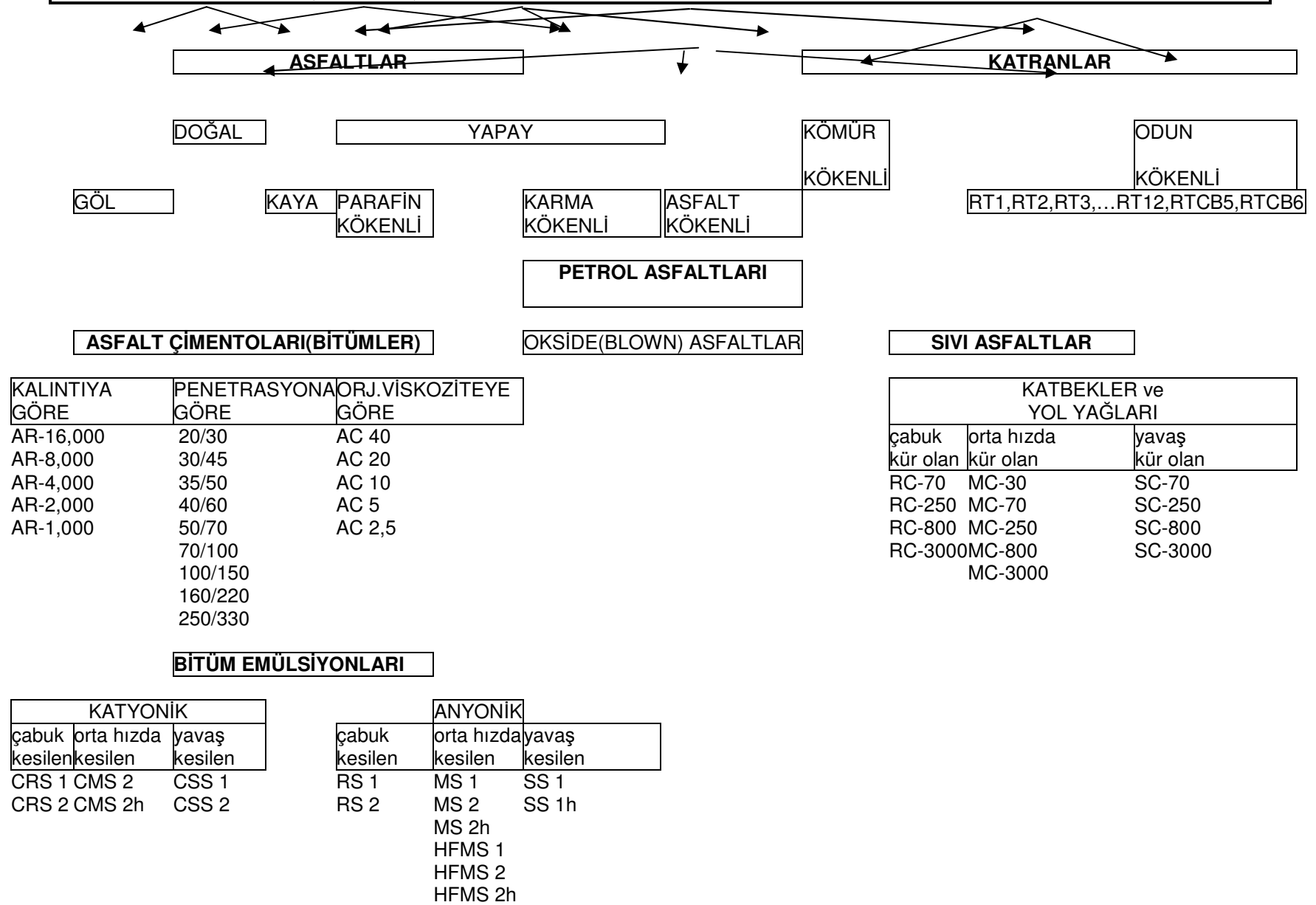
2.15 Sıvı Petrol Asfaltları

Orhan, 2005'e göre sıvı petrol asfaltları, ısıtılmış bitümlere (B 70/100, B 100/150 gibi) benzin, gazyağı ya da bakiye yağ karıştırılması ile üretilir. Asfalt çimentosuna;

- Benzin ilavesi ile çabuk kür olan (RC) sıvı petrol asfaltları
- Gazyağı ilavesi ile orta hızda kür olan (MC) sıvı petrol asfaltları
- Bakiye yağ ilavesi ile yavaş kür olan (SC) sıvı petrol asfaltları, üretilir.

Kullanılan bitümün sınıfı ve oranı ile çözücü miktarına göre, değişik sınıflarda sıvı petrol asfaltı tipleri hazırlanır. Aşağıdaki tabloda sıvı petrol asfaltları tipleri ve kullanım yerleri verilmektedir. (Orhan, 2005) (Tablo 2.13)

Tablo 2.13 Bitümlü malzemeler (Orhan, 2005)



2.16 Bitüm

Bitüm, “doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya pirojenik kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çok defa bunların gazı sıvı, yarı katı ve katı olabilen, metal-dışı türevleri ile bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbon disülfürde tamamen çözünen madde” olarak tanımlanır. (Orhan, 2005)

Başka bir tanımda, karbonlu hidrojenler karışımı veya onların bileşimlerinden ibaret, siyah-koyu renkli maddelerdir. Ham petrolden elde edilir. İçinde az miktarda kükürt, oksijen, azot ve hidrojen vardır. (Bitümlü Malzemelerin Tanımı, bt)

Bitümler genellikle penetrasyonlara göre sınıflandırılır. Amerika’da viskoziteye, son yıllarda, superpave sistemde performans derecesine göre sınıflandırılmaktadır. Değişik penetrasyon dereceleri, petrolün arıtılması sırasındaki işletmelerle sağlanır. Ayrıca, bitümler, sıvı petrol asfaltlarının (cutback asfalt) ve bitüm emülsiyonlarının hazırlanmasında da kullanılır. (Orhan, 2005)

2.16.1 Bitümlü Malzemeler

Polimerizasyon yolu ile zincir şeklinde, bağlı çok büyük moleküller meydana getirerek sertleşen maddelerdir. Bu büyük moleküller monomer adı verilen daha küçük moleküllerin lineer bağlarla veya hem lineer hem de yanal bağlarla bağlanması sonunda meydana gelir. Polimerizasyon olayı ısıtma, oksijen etkisinde bırakma veya vakum uygulayarak suyunu alma gibi yollarla yapılmaktadır. Zincir şeklindeki dev moleküllerin arasındaki çekim ve bağ kuvvetleri polimerlerin özelliklerini sağlar. Yanal bağları zayıf zincirlerden oluşan polimerler yumuşak, kuvvetli olanlar sert ve ısıya dayanıklı maddeleri meydana getirir. Molekölün ağırlığını, boyunu, yanal bağları istenildiği gibi ayarlayarak, kimya endüstrisinde istenilen özellikte malzeme elde edilebilir. Karbon sülfürler de eriyen maddelere bitüm, bitimün doğal veya yapay mineral dolgu maddeleriyle karışımına asfalt denir. (Bitümlü Malzemeler, bt)

Bitümlü maddeler, siyah renkli ve reçine karakterindeki bu organik maddelerin molekülleri, zincir şeklinde dizilmiş karbonlu hidrojen monometrelerden meydana gelmiştir. İrilerine asfaltenler, ufaklarına reçineler adı verilir. Bunlar asfaltik bir yağ içinde bulunurlar. Dolayısıyla bitümlü maddelerin belirli bir ergime dereceleri yoktur. Isıtıldıkları zaman katı halden sıvı hale geçiş yavaş ve yumuşama yoluyla olur. Katı haldede belirli bir plastikliğe sahiptirler. Üzerlerine sürüldükleri katı cismin yüzeyine yapışırlar. Suya dayanıklı, su geçirmeyen asit ve tuzlarla reaksiyon yapmayan, atıl ve izolasyon özelliği yüksek maddelerdir. (Bitümlü Malzemeler, bt) Bitümlü maddelerin çeşitleri ve kullanım yerleri Tablo 2.14’te gösterilmiştir.

Bitümlü Malzemeler, (bt)’e belirtildiği gibi, bitümlü maddeler elde ediliş şekillerine göre 4 gruba ayrılır:

- Tabii,doğal asfaltlar
- Kaya asfaltları
- Petrol asfaltları
- Katranlar

Katran, başlıca kömürün veya odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir. Arıtıldıktan sonra kullanılır. (Orhan, 2005)

Tablo 2.14 Bitümlü maddelerin çeşitleri ve kullanım yerleri (Bitümlü Malzemeler, bt)

ÇEŞİTLERİ	KARAKTERİ	KULLANIM ALANLARI
Okside asfalt	Katı dış etkilere dayanıklıdır	Tecrit ve sıcak bitüm işlerinde
Asfalt çimentosu	Katı veya yarı sıvı yapışkan	Yol ve su inşaatları, sıcak bitüm işleri
Asfalt eriyiği	Sıvı	Yol inşaatı kuru yüz.tecriti
Asfalt emilsiyonu	Sıvı	Yol inşaatı,nemli yüz.tecriti
Katran	Yarı sıvı veya sıvı	Yol inşaatı,tecrit işlerinde
Bitümlü mastik macun	Yarı sıvı veya katı	Derz tıkamada
Bitümlü mukavva	2 yüzü bütümlü kaplı mukavva	Çatı örtüsünde

2.16.2 Bitümlü Bağlayıcılar

Bitümlü bağlayıcılar esas olarak iki kısma ayrılırlar: Asfaltlar ve katranlar. Asfaltlar doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar diye iki gruba ayrılabilir. Doğal asfaltlar, mineral maddelerle karışmış halde bulunan kaya ve göl asfaltlarıdır. Yapay asfaltlar ise, ham petrolün arıtılmasından elde edilir. (Orhan, 2005)

2.16.3 Polimer Modifiye Bitümler (PMB)

“Asfalt betonu kaplamaların performanslarının iyileştirilmesi çalışmalarında çok çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Katkı maddeleriyle modifiye edilen bitümlü karışımların performansları incelenerek, katkıların kazandırdıkları özellikler tespit edilmeye çalışılmaktadır. Modifikasyon işlemi genel olarak, katkı maddesinin bitüme katılarak Modifiye Bitüm elde edilmesi veya katkı maddesinin doğrudan karışıma katılarak Modifiye Karışım elde edilmesi şeklinde yapılmaktadır.” (Deniz, Sönmez, Yıldırım ve Eren, bt)

“Modifiye bitümler, normal bitüme (asfalt çimentosuna) kimyasal katkılar eklenerek, bitümün kimyasal yapısının ve/veya fiziksel ve mekanik özelliklerinin değiştirilmesi ile hazırlanırlar. PMB (polimer modifiyeli bitümler) ya işyerinden uzakta merkezi bir plantte ya da özel mobil ünitelerde, kullanımdan önce, şantiyede üretilirler.” (Orhan, 2005)

“Geçmişten bugüne bağlayıcıların özelliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri (modifiyerler) kullanılmakta, böylece kaplamanın daha uzun süre performansını koruyarak hizmet ömrünün artması sağlanmaktadır. Bu amaçla kullanılan katkı maddeleri amaca bağlı olarak çeşitlilik arz etmektedir.” (Yılmaz ve Ahmedzade, 2007)

Orhan (2005)’ e göre, modifiye bitümlerin ve karışımların kullanım amaçları aşağıda özetlenmiştir.

1. Düşük sıcaklıklar için daha yumuşak karışımlar elde etmek ve çatlakları azaltmak.
2. Yüksek sıcaklıklar için daha sert karışımlar elde etmek ve tekerlek izinde oturmayı azaltmak.
3. Yapım sıcaklıklarında viskoziteyi düşürmek.
4. İşlenebilirliği ve sıkışmayı iyileştirmek
5. Karışım dayanımını ve stabilitesini artırmak.
6. Karışımın aşınma dayanımını iyileştirmek ve agregası kopmasını azaltmak.
7. Kaplamanın düşük sıcaklık çatlaklarını azaltmak.
8. Karışımın yorulma dayanımını iyileştirmek.
9. Marjinal asfalt çimentolarının kalitesini yükseltmek.
10. Yaşlanmış asfalt bağlayıcıyı tekrar gençleştirmek
11. Marjinal agregaların kullanımı sağlamak.
12. Asfalt bağlayıcının ömrünü uzatmak
13. Agregası üzerinde daha kalın asfalt filmi oluşturmak.
14. Yapışmayı iyileştirmek ve asfalt çimentosunun agregası yüzeyinden soyulmasını azaltmak
15. Kusmayı azaltmak.
16. Geliştirilmiş çatlak dolgusu sağlamak
17. Yakıt döküntülerine karşı dayanım artışı sağlamak
18. Yaşlanmaya ya da oksidasyona karşı dayanım artırmak
19. Kaplama tabakalarının kalınlığı azaltmak
20. Kaplamanın ömür-döngü maliyeti azaltmak
21. Kaplamaların tüm performansını geliştirmek

“Kaplama oluşacak bozulmaları engelleyerek kaplamanın servis ömrünü uzatmak amacıyla başlıca polimer kökenli katkı maddeleri kullanılmaktadır.” (Yılmaz ve Ahmedzade, 2007)

Orhan (2005)'e göre, karışımın yapılacağı bölgenin iklim koşulları ve yolun trafiği dikkate alınarak, kaplamanın iyileştirilmek istenilen özelliklerine uygun modifiye bitüm tipi seçilir. Farklı modifiye edici katkıları kullanılarak, istenilen özellikleri sağlayan modifiye bitüm üretimi mümkündür. (Tablo 2.15'de ifade edilmektedir)

Tablo 2.15 Modifiye bitüm özellikleri (Orhan, 2005)

Kullanılacağı Bölgeler		Akdeniz,Ege İklimi,Güneyd oğu Anadolu'nun Sıcak Kesimleri		Kara deniz, Marma ra,İç,Doğu ve Güneydoğ u Anadolu	Doğ u Ana dolu 'nun çok soğ uk
DENEY ADI	STANDARD I	TİP-1	TİP-2	TİP-3	TİP-4
PENETRASYON(25°C,100g,5sn.)0,1mm min.	TS 118EN1426	20	20	40	60
DÜKTİLİTE 25°C'de,(5cm/dk.) min cm	ASTM D113	10	60	80	100
YUMUŞAMA NOKTASI (R/B) °C	TS 120EN1427	65-75	65-75	60-70	50- 60
FRAASS KIRILMA NOKTASI ^b , °C maks.	TS EN 12593	-8	-12	-15	-20
ELASTİK GERİ DÖNME (25°C),% min.	TS EN 13398	25	50	50	50
PARLAMA NOKTASI, °C min.	TS 123EN22592	200	200	200	200
ÖZGÜL AĞIRLIK	TS 1087	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0- 1.1
DEPOLAMA STABİLİTESİ ^a	TS EN 13399				
YUMUŞAMA NOKTASI FARKI, °C maks.		4	4	4	4
PENETRASYON DEĞERİ FARKI, °C maks.		5	5	8	8
İNCE FİLM HALİNDE ISITMA DENEYİ ^b (163 °C'de,5 saat)	TS EN 12607- 2				
KÜTLE KAYBI, % maks.		1	1	1	1
YUMUŞAMA NOKTASINDAKİ DEĞİŞİKLİK artma,°C maks.azalma, °C maks.	TS 120EN1427	7 2	7 2	7 2	7 2
PENETRASYONDAKİ DEĞİŞİKLİK azalma,maks.artma, % maks	TS 118EN1426	40 10	40 10	40 10	40 10
DÜKTİLİTE 25°C'de,(5cm/dk.) cm min	ASTM D113	5	30	50	80

Kullanılacağı Bölgeler		Akdeniz,Ege İklimi,Güneydoğu Anadolu'nun Sıcak Kesimleri		Karadeniz, Marmara,İç,Doğu ve Güneydoğu Anadolu	Doğu Anadolu'nun çok soğuk
DENEY ADI	STANDARD I	TİP-1	TİP-2	TİP-3	TİP-4
ELASTİK GERİ DÖNME (25°C), % min.	TS EN 13398	25	50	50	50

“Modifiye bitüm, kullanılan polimerin erime noktasının üzerinde bir sıcaklıkta bitüm ve polimerin, fazların (bitüm-polimer) tamamen karışımını sağlayacak uygun karıştırıcı ile homojen olarak karıştırılması sonucu üretilir.” (Orhan, 2005)

“Günümüzde bitümlü bağlayıcıların uygunluğu ve kullanılabilirliği, birçok Avrupa ülkesinde olduğu gibi Ülkemizde de TS 1081 EN 12591 standardına göre tespit edilmektedir. Bu standartta penetrasyon veya viskozite gibi sabit sıcaklıkta yapılan deneyler kullanılarak bağlayıcı kıvamları ve sınıfları belirlenmekte, uygulanan diğer standart bağlayıcı deneyleri (yumuşama noktası, Fraas kırılma noktası vb.) ile de kullanılabilirlikleri belirlenmektedir.” (Yılmaz ve Ahmedzade, 2007)

BÖLÜM ÜÇ

DENEYLER

3.1 Bitümlere Uygulanan Deneyler

Orhan, (2005)'e göre, bitümlere uygulanan deneyler şöyledir:

- Penetrasyon
- Yumuşama Noktası
- Trikloretilende çözünürlük
- İnce film halinde ısıtma
- Parlama noktası (Cleveland açık kap)
- Özgül Ağırlık
- Fraass kırılma noktası
- Parafin mumu içeriği

“Asfaltın penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, duktilite, eriyebilirlik, ısıya dayanıklılık ve alev alma noktasının saptanması gibi özel deneyleri vardır.” (Bitümlü Malzemelerin Tanımı, bt)

Orhan (2005) belirttiği gibi, belirlenen sıcaklığı kadar ısıtılmış bitüm içerisine katkı malzemesi değişik oranda katılarak karıştırılır ve genellikle bu karışım bir değirmenden geçirilerek fazların karışması ve homojenliği sağlanır.

“Sıvı fazı oluşturan bitüm, termoplastik ve viskoelastik bir malzemedir. Viskoelastik malzemeler yüksek hızlı yüklemelerde elastik davranış ve yüksek mukavemet gösterirken, düşük hızlı yüklemelerde viskoz davranış ve düşük mukavemet gösterirler. Termoplastik malzemeler yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemet, düşük sıcaklıklarda ise yüksek mukavemet gösterirler. Bitümün elastik rijitliğine etki eden parametreler, yükün etki süresi, penetrasyon indeksi, bitüm yumuşama noktası ve sıcaklıktır. Bu parametrelerden, yükün etki süresinin artışı bitümün elastik rijitliğini azaltırken, penetrasyon indeksinin ve yumuşama noktasının artışı elastik rijitliği

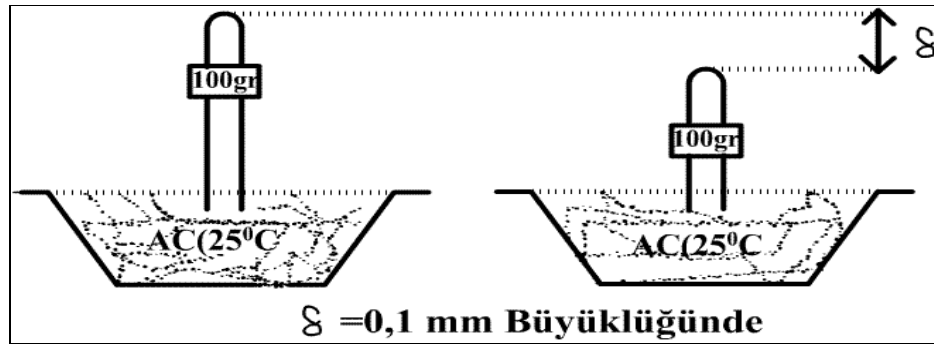
artırmaktadır.”Kuloğlu (2000)’e göre, bitümün plastik rijitliğine etki eden parametreler ise bitümün viskozitesi ve bitüme etkiyen yükün toplam etki süresidir. Viskozitenin artışı plastik rijitliği artırırken, toplam etki süresinin artışı azaltmaktadır. (Kuloğlu, 2000)

Ancak özellikle asfalt malzemesini sınıflandırmaya yarayan penetrasyon deneyinden söz etmekte yarar vardır. (Bitümlü Malzemelerin Tanımı, bt)

3.1.1 Penetrasyon Deneyi (TS 118 EN 1426, ASTM D5)

Asfalt çimentolarının sertlik veya kıvamlıkları belirlenir. Standard bir iğnenin belirli bir yük (100g) altında belirli bir süre (5 sn) asfalt çimentosu içine dikey olarak battığı mesafe 0,1mm cinsinden bulunur. Penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır. Penetrasyon yükseldikçe asfalt yumuşar. Kıvamlılık artıkça asfalt sertleşir. (Orhan, 2005)

Bu deney Şekil 3.1’de görüldüğü gibi standart iğnenin, belirli yük, zaman ve ısıda, bitümlü malzeme içine batma miktarının ölçülmesi ile yapılır. (Bitümlü Malzemeler, bt)



Şekil 3.1 Penetrasyon deneyi (Bitümlü Malzemeler, bt)

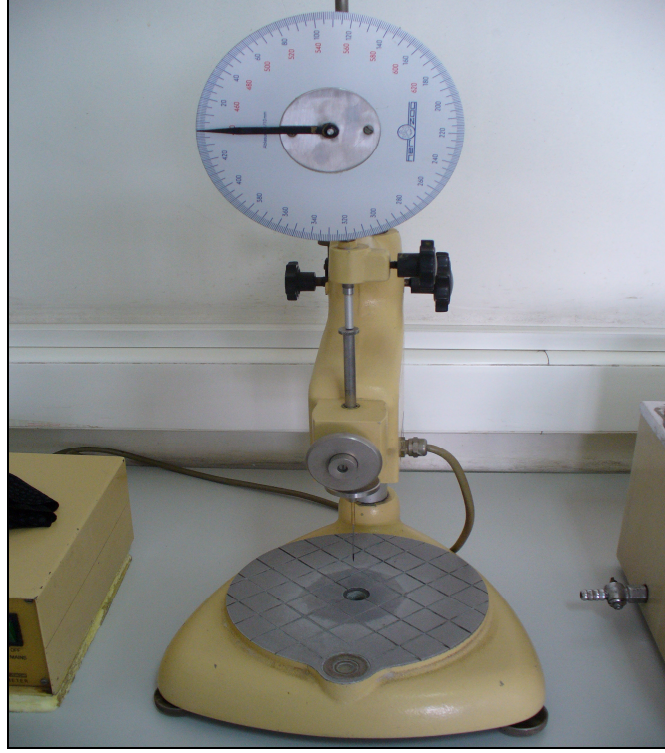
“Penetrasyon deneyi bütün asfaltlar için 25°C’de yapılmaktadır.” (Arıkan Öztürk ve Çubuk, 2004)

Düşük penetrasyon dereceli olanlar sıcak iklimlerde kullanılır. (Bitümlü Malzemeler, bt)

“Standartta belirtilen sınıflandırmaya göre yüksek kıvamlı bitümlerin soğuk iklimli bölgelerde, düşük kıvamlı bitümlerin ise sıcak iklimli bölgelerde kullanılması tavsiye edilmektedir.” (Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, 2008)

“Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıların kıvamlarının viskozimetre ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu durumda penetrasyon deneyi yapılır. Penetrasyon ölçmek için kullanılan alete penetrometre denir.” (Asfalt Deneyleri, bt)

Asfalt Deneyleri, (bt) belirtilen deney yapılışı ise, penetrasyon cihazı düzgün bir yere yerleştirilir ve gösterge sıfıra getirilir. Numune istenen sıcaklıkta olmalıdır (genellikle 25 °C’de). İstenen ağırlıkta (genellikle 100 gr) numune yüzeyine ancak degecek şekilde ayarlanır. İğne belirli bir zaman aralığında serbest bırakılır. Genellikle 5 sn’lik zaman bitiminde penetrasyon değeri okunur. Kabın kenarından ve birbirinden 1’er cm’ lik uzaklıkta en az 3 okuma yapılır. Bu okumalar en kısa zamanda yapılmalıdır. İğne, her seferinde uygun bir çözücü ile (Karbon tetra klorür, tri klor etilen, benzin) ısıtılmış bezle silinir. Sonra kuru bezle temizlenir (TS 118, 1998). Şekil 3.2’de penetrasyon deney aleti gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Penetrasyon deney aleti (penetrometre)

Viskozite ve penetrasyon derecesi benzer sayılarla verilir. Örneğin 80-100 penetrasyonlu asfalt, 50-100 viskoziteli asfalt gibi, fakat bunlar farklı şeylerdir. Bunların benzer şekilde ifade edilmesi yanlışlara yol açmaktadır. Penetrasyon derecesi yükseldikçe daha yumuşak bağlayıcı söz konusudur. Buna karşılık viskozitede durum terstir. Normal yol işlerinde kullanılan asfaltların penetrasyonu 30 ile 300 arasında değişir. Penetrasyonu aynı olan iki asfalttan yumuşama noktası yüksek olan sıcakta daha dayanıklıdır. (Asfalt Deneyleri, bt)

3.1.2 Bitüm Rijitliğine Etki Eden Parametreler

Bitüm rijitliğini veren (1) eşitliği Van der Poel tarafından geliştirilmiştir. (Kuloğlu, 2000)

$$S_{b,e} = 1,157 \times 10^{-7} \times t_w^{-0,368} \times \exp(-PI) \times (T_{H,B} - T)^5. \quad (1)$$

Burada, S_b, e Bitüm elastik rijitliği (MPa), t_w Yükün etki süresi (s), PI Penetrasyon indeksi, $TH;B$: Yumuşama noktası (Halka- Bilya metodu ile hesaplanan) ($^{\circ}C$), T Bitüm sıcaklığı ($^{\circ}C$) Viskoziteyi etkileyen en önemli etken $TH;B$ değeridir. $TH;B$ değeri ne kadar yüksek olursa viskozite ve buna bağlı olarak plastik rijitlik o oranda artacaktır. Kuloğlu, 2000'e göre, bitüm sıcaklığı yumuşama noktasına yaklaştıkça rijitlik de sıfıra yaklaşmaktadır. Buradan, bitüm modifikasyonunda kullanılan katkı maddelerinin bitüm yumuşama noktasını artırması gerekliliği sonucu ortaya çıkmaktadır. (Kuloğlu, 2000)

3.1.3 Yumuşama Noktası Deneyi (TS 120 EN 1427, ASTM D36)

“Asfalt çimentolarının sıcaklığa karşı duyarlılığını ölçmek için (hangi sıcaklıkta asfaltın akmaya başladığı) yüzük-bilya yöntemi ile yumuşama noktası olarak ifade edilen sıcaklığı belirlenir. Yumuşama noktası çok yüksek bitümlerin viskozitesinde yüksek olduğundan, sıcak karışım yapım sıcaklıkları da yüksek olmaktadır.” (Orhan, 2005)



Şekil 3.3 Yumuşama noktası deney aparatları

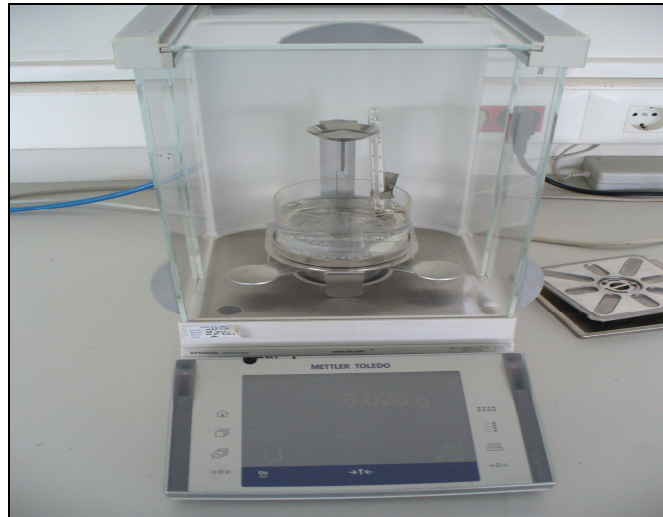
“Bitüm ve bitümlü karışımların gerek elastik ve gerekse plastik rijitlikleri üzerinde etkili olan en önemli parametre yumuşama noktası ile sıcaklık arasındaki farktır. Bu nedenle bitümlü kaplamalarda kullanılacak bitüm sınıfının kaplamanın yapıldığı bölgenin en

yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri dikkate alınarak seçilmesi, kaplamalarda zamanla oluşabilecek bozulmaların önlenmesi bakımından çok önemlidir.” (Kuloğlu, 2000)

3.1.4 Özgül Ağırlık Deneyi (TS 1087)

Bitümlü malzemenin özgül ağırlığı 25°C sıcaklıktaki, hacminin havadaki ağırlığının aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır. Genellikle piknometre yöntemi ile özgül ağırlık belirlenir. (Orhan, 2005)

Bu metotta, önce boş piknometre kabı kuru olarak tartılır, daha sonra su ile doldurulur ve tekrar tartılır. Piknometre kabı boşaltılır, kurutulur, içine uygun miktarda bağlayıcı genellikle 2/3 yüksekliğine kadar ya küçük parçalar halinde veya eritilmiş malzeme akıtılarak konur. Eğer ısıtılmış malzeme akıtılacak ise malzeme içinde hava kabarcıkları kalmamasına dikkat edilmesi gereklidir. Piknometre içinde kalan boşluk su ile doldurulur ve tartılır. Deneyde kullanılacak su saf su olmalıdır. Deney, genellikle 25 °C ‘de yapılır. Farklı sıcaklıklarda yapılacaksa 25 °C ‘ye çevirmek için çeşitli tabaklardan yararlanılır. (Asfalt Deneyleri, bt)



Şekil 3.4 Örnek piknometre

Asfalt Deneyleri (bt)'e göre, bir bağlayıcının özgül ağırlığı bunun belli bir hacminin ağırlığının aynı hacimde su ağırlığına oranıdır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığı başlıca iki bakımdan önemlidir. Birincisi; çok defa ağırlıkla hacim arasındaki bağıntının bilinmesi faydalıdır. Bitümlü kaplamalara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilir. Buna karşılık bağlayıcılar çok defa hacimce ölçülür. Sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir. İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi açısından özgül ağırlık yararlıdır.

$$C-A$$

$$\text{Özgöl ağırlık (kN/cm}^3\text{)} = \frac{C-A}{B-A-(D-C)A} = \text{Piknometre ağırlığı (gr)}$$

B = Su ile dolu piknometre ağırlığı (gr)

C = Piknometre ve asfalt ağırlığı (gr)

D = Piknometre, asfalt ve su ağırlığı (gr) (Asfalt Deneyleri, bt)

3.1.5 Viskozite (TS 117)

Viskozite asfaltın kıvamlılığı ile ilgili ve akmaya karşı olan direncin bir ölçüsüdür. Kıvamlılık arttıkça, yani asfalt yarı-katı hale yaklaştıkça viskozite değeri yükselir. Viskozite deneyinin amacı, asfaltların uygulama sırasında ısıtıldıkları sıcaklık sınırları içerisindeki akma özelliğini tayin etmektedir. Asfalt çimentolarının, pompalama ve doldurma, boşaltma sırasındaki akma özelliğini belirlemek için Brookfield Viskozimetre aleti kullanılır. Ayrıca aynı aletle sıcak karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında viskoziteye bağlı olarak bulunur. Asfaltın viskozitesinin 170 ± 20 santistok olduğu sıcaklık karıştırma sıcaklığı ve viskozitesinin 280 ± 30 santistok olduğu sıcaklık sıkıştırma sıcaklığı olarak belirlenir. (Orhan, 2005)

“Bitümlü sıcak karışımların (BSK) karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını tespit etmek amacıyla viskozite değerleri kullanılmaktadır.” (Yılmaz ve Ahmedzade, 2007)

Yılmaz ve Ahmedzade (2007) dediği gibi, dönel viskozimetre (RV) deneyi, bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki akışkanlık karakteristiklerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla AASHTO TP48 standardına uygun olarak “Brookfield Viskozimetresi” kullanılmaktadır.

“Bağlayıcıların yüksek sıcaklık viskozite değerleri, pompalama ve karıştırma sırasında bağlayıcıların yeterince akışkan olduklarının tespiti amacıyla belirlenmektedir. Deneyde, bağlayıcı içerisinde 20 rpm hızla dönen bir milin, dönmeye karşı gösterdiği direnç ile viskozite değerleri elde edilmektedir (Şekil 3.5). Orijinal bağlayıcılar üzerinde uygulanan RV deneyinde 135°C’deki viskozite değerlerinin 3 Pa.s’yi (3000 cP) aşmaması istenmektedir.” (Yılmaz ve Ahmedzade, 2007)



Şekil 3.5 Brookfield viskozimetresi

“Deney için bağlayıcıdan yaklaşık olarak 30 gr. numune alınmakta ve sıcaklığı 150°C’den daha düşük olan etüvde ısıtılarak akışkan hale getirilmektedir. Bu malzemeden yaklaşık olarak 11 gr. numune bölmesine doldurulmakta, numune bölmesi

sıcaklığı sabit değere ulaşmış sıcaklık kontrollü kaba yerleştirilmektedir. Numune 15 dakika sabit sıcaklıkta bekletildikten sonra deney yapılmaktadır. Yaklaşık olarak eşit viskozite değerlerine erişildikten itibaren üç adet okuma yapılmakta ve bu üç değer ortalamasından bağlayıcının viskozitesi elde edilmektedir.” (Yılmaz ve Ahmedzade, 2007)

3.1.6 Fraass Kırılma Noktası Deneyi (TS EN 12593)

Asfalt çimentosunun düşük sıcaklıktaki davranışı belirlemek için yapılan bir deneydir. Deneyde, bitümün kritik sertliğe (stiffness) ulaştığı ve kırıldığı sıcaklık (-30°C 'ye kadar) belirlenir. Asfalt çimentolarına ve modifiye bitümlere yapılabilen bir deneydir. Özellikle soğuk bölgelerimizde kullanılacak bitümün tipini belirlemek için uygun bir deneydir. (Orhan, 2005)



Şekil 3.6 Örnek kırılma makinası

Orhan (2005)'e göre, asfalt çimentosunun düşük sıcaklıklardaki davranışı belirlemek için Amerika'da (Superpave sisteminde) ve son yıllardan Avrupa'da Kiriş Eğme Reometresi ve Direkt çekme deneyleri de yapılmaktadır.

Asfaltın yaşlanma davranışı: “Organik moleküllerden oluşması nedeniyle asfalt çimentosu oksijenle reaksiyona girer. Bu reaksiyon oksidasyon olarak adlandırılır.

Oksidasyon, asfalt moleküllerinin yapısını ve kompozisyonunu değiştirir, asfalt çimentosunun daha kırılgan olmasını sağlar ve yaşlanmadan kaynaklanan sertleşme sürecini başlatır. Sıcak iklim koşullarında hızlansa da, oksidasyon sertleşmesi asfalt üstyapılarda yavaş gelişen bir olaydır. Havanın karışım içine daha fazla nüfuz etmesiyle de daha yüksek oranda oksidasyon sertleşmesi meydana gelir.” (Arıkan Öztürk ve Çubuk, 2004)

“Yaşlanma, başlıca asfalt karışımların hazırlanması sırasında bitümün oksidasyonu ve buharlaşabilen bileşenlerin kaybıyla (kısa süreli yaşlanma) ve araziye uygulanmış malzemelerin artan oksidasyonu (uzun süreli yaşlanma) ile ilgilidir. Her iki faktör, bitümün viskozitesinin ve buna bağlı olarak karışımın sertliğinin artmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu durum, karışımın daha sert, kırılgan ve çatlak oluşumu ile yapısal dağılmaya karşı daha hassas olmasına neden olmaktadır. Zamanla moleküler yapının değişmesi (yapısal sertleşme) ve kimyasal değişikliğe neden olan güneş ışınları (özellikle çöl şartlarındaki morötesi radyasyon) gibi faktörler de yaşlanmaya katkıda bulunabilmektedir.” (Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, 2007)

“Bitümlü kaplama karışımlarının durabilitesine doğrudan etki eden ana faktörler nem hasarı ve yaşlanmadan dolayı meydana gelen sertleşmedir. Bitümlü bağlayıcının yaşlanması, sertliğinin veya viskozitesinin artışı ile sonuçlanmaktadır.” (Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, 2007)

Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, (2007), genel olarak yaşlanmadan dolayı meydana gelen sertleşmeye etki eden üç ana etken olarak; oksidasyon, buharlaşabilen parçacıkların kaybı ve tiksotropik etkiler (yapısal sertleşme) kabul etmektedir.

“Yaşlanmadan dolayı meydana gelen sertleşme iki olumlu etkiye neden olabilmektedir. Bu etkilerden ilki yük taşıma kapasitesindeki artış, ikincisi ise kaplama esnekliğinin azalması veya daha sert bir malzeme elde edilmesi sonucu oluşan kalıcı deformasyona karşı dayanımdaki artıştır.” (Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, 2007)

“Oksidasyon sertleşmesi su ve hava nedeniyle üstyapının ömrü boyunca devam eder. Bu durum da “uzun süreli yaşlanma” olarak ifade edilir. Daha sıcak iklimlerde ya da iklimin sıcak olduğu dönemlerde bu yaşlanma hızlanır.” (Arıkan Öztürk ve Çubuk, 2004)

Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, (2007)’e göre, bu araştırmaların çoğunda, bitümü hızlandırılmış şekilde yaşlandırmak amacıyla ince film halinde etüvde bekletme yöntemleri kullanılmıştır. Bu ince film halinde etüvde yaşlandırma yöntemlerinin çoğunda yüksek sıcaklıkta ısıtma (etüvde buharlaştırma) prosedürlerine bağlı kalınmaktadır.

3.2 Morötesi ve Kızılötesi Işık Altında Davranış

“Güneş ışınlarının enerjisi, 200 ile 3000 nm. dalga uzunluğu bandları arasında yer alan elektromanyetik radyasyon biçimindedir. Yeryüzüne ulaşan güneş kaynaklı radyasyonun yaklaşık olarak % 7’si morötesi (UV) radyasyon (180-400 nm.), % 42’si görülebilir band (400-800 nm.) ve % 51’i kızılötesi (IR) radyasyondur (800-3000 nm.). UV aralığında, dalga boylarının büyüklüğüne göre üç alt grup tanımlanabilmektedir. Bunlar; UVC bandı (240- 280 nm.), UVB bandı (280-315 nm.) ve UVA bandıdır (315-400 nm.). UV ve IR ışınlarının bitümü yaşlandırmak amacıyla kullanılması, ilk olarak Vallergera ve ekibi tarafından (1957) belirtilmiş ve burada bitüm filmleri TFOT kaplarında yaşlandırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda bitümün fiziksel özelliklerindeki değişim bakımından morötesi ışınların, kızılötesi ışınlarla göre daha etkili olduğu belirlenmiştir.” (Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, 2007)

Kuppens ve ekibi (1997) ise, Hollanda iklim şartları altındaki poroz asfaltların yaşlanmasını laboratuvara yansıtmak amacıyla özel bir iklimlendirme kabini (fırın) kullanmışlardır. Yöntem, 24 saatlik bir süre boyunca bitümün işlemlere tabi tutulması suretiyle uygulanmaktadır. 24 saatlik süre içerisinde bitüm, 16,25 saat süresince 50 °C sıcaklıkta UV ışınına, 4 saat boyunca 40°C sıcaklıkta NaCl yağmuruna, 1 saat boyunca 20°C sıcaklıktaki su yağmuruna tabi tutulmakta ve daha sonra 2,75 saat süresince –20°C sıcaklıkta dondurulmaktadır. Prosedür bu işlemler sayesinde hem arazi yaşlanmasını

hem de su tesirini simüle etmeyi amaçlamıştır. Bu deney istenildiği kadar tekrarlanabilmektedir. Fakat prosedür değerlendirildiğinde arazi performansıyla çok düşük bir uyuma sahip olduğu belirlenmiştir. (Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, 2007)

Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, (2007) kaynağında yazdığı gibi, bitümlü kaplama karışımlarının durabilitesine doğrudan etki eden ana faktörler nem hasarı ve yaşlanmadan dolayı meydana gelen sertleşmedir. Asfalt karışımlarda oluşan yaşlanma, kısa ve uzun süreli olmak üzere başlıca iki aşamada meydana gelmektedir. Kısa süreli yaşlanma, karıştırma ve yapım sırasında asfalt karışım içerisinde bulunan bitümün buharlaşmasından kaynaklanırken uzun süreli yaşlanma ise arazideki bazı yapısal sertleşme ve oksidasyondan kaynaklanmaktadır.

“Güneş ışınları bakımından ise morötesi ışınlar yüzeyin 1–2 mm.lik üst kısmında etkili olmakta ve bu etki genellikle ihmal edilebilmektedir. Kızılötesi ışınlar ise bitümlü bağlayıcıların yaşlanmasında daha büyük etkiye neden olduğundan göz önünde bulundurulması gerekmektedir.” (Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, 2007)

Yılmaz ve Ahmedzade, (2007) yaptığı çalışmalarda, ısı hassasiyeti bakımından ise katkısız işlem görmemiş ve yaşlandırılmış bağlayıcılar arasında fark olmasına rağmen modifiye bağlayıcılarda ısı hassasiyeti değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

3.3 Yapılan Deneyler

Çalışmada kullanılan CTP sert bir plastiktir. Kullanım alanı oldukça yaygındır. Tezel ve Karacadağ (2007)’ın belirttiği gibi, geri dönüştürülebilir, uluslar arası geri dönüşüm kodu 3 olarak belirtilmiştir.

Deneyisel çalışmada TÜPRAŞ rafinerisinden elde edilen bitüm kullanılmıştır. Asfalta Yücel Kompozit Malzemeleri Pazarlama ve Ticaret Ltd. Şti.nden edinilen CTP tozları eklenerek, malzemelerin 190-200°C sıcaklıkta, 400-500 rpm hıza sahip bir karıştırıcıda, yaklaşık 90 dakika süreyle karıştırılması sonucu elde edilmiştir. Karışım üzerinde

penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanarak katkı maddesinin etkisi araştırılmıştır.

İki değişik boyutta, öğütülmüş CTP tozu eklenen bitümlü karışımlarımızın fiziksel özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla laboratuvarda toplam 5 adet numune hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde viskozite, penetrasyon, yumuşama, kayma, yapışma ve fraass kırılma, yoğunluk (özellik ağırlık) deneyleri yapılmıştır.

Şekil 3.7’de deneyde kullandığımız iki değişik boyuttaki CTP tozları görülmektedir. Soldaki un kıvamında toz halinde olup, diğer numunemiz daha iri taneli öğütülmüştür.



Şekil 3.7 Deneyde kullanılan CTP tozları

İlk 2 numunemizde asfalt aynı yüzde oranlarında, fakat şekilde görülen 2 farklı boyuta sahip CTP tozlarımızla karışımlar hazırlanarak CTP tozunun hangi tane boyutunda başarılı sonuçlar verdiği araştırıldı.

Karışım yüzde oranları her 2 karışımda aynı olmak üzere:

1.nolu numunemiz **ince** taneli CTP tozu + Asfalt

2.nolu numunemiz **iri** taneli CTP tozu + Asfalt

İki farklı karışımı, farklı ocaklarda aynı anda karışım sıcaklıkları yaklaşık 190-200°C oluncaya ve CTP tozlarımız karışımda eriyinceye kadar ısıtmak ve karıştırmak suretiyle hazırlanmıştır. (Şekil 3.9)

Her iki numuneye; viskozite, yumuşama ve penetrasyon deneyleri yapıldı. Tablo 3.1’de numune deney sonuçları gösterilmiştir. Tablo 3.1’ de 1,2 nolu numune sonuçları:

Tablo 3.1 Deney sonuçları	NUMUNE 1 (ince taneli CTP)	NUMUNE 2 (iri taneli CTP)
VİSKOZİTE (180°C)	340 cp	360 cp
PENETRASYON (25°C)	118dmm	148dmm
YUMUŞAMA NOKTASI (YİVLI YÜZÜK)	47 °C	44 °C
YUMUŞAMA NOKTASI (DÜZ YÜZÜK)	45 °C	42 °C

Normalde kullandığımız asfaltın ortalama yumuşama noktası yaklaşık 40 °C iken, CTP tozları konulmasıyla bu derecenin 47 °C’ye kadar yükseldiği görülmüştür.

Yumuşama deneyinde kullanılan Tablo 3.1.’de adı geçen yivli ve düz yüzükler Şekil 3.8.’de gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Yivli yüzük-Düz yüzük



Şekil 3.9 Numunelerin ısıtılıp karıştırılarak hazırlanması

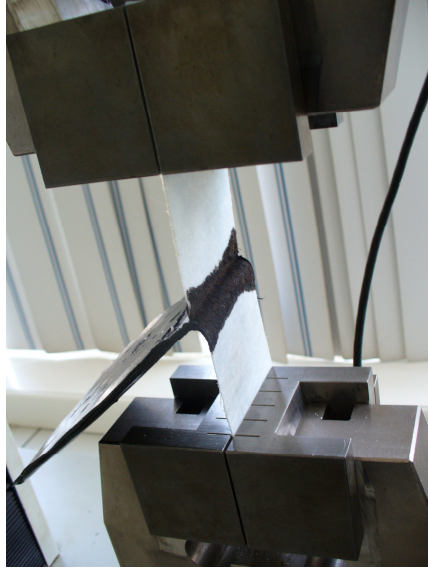
Bu 2 numuneden ince taneli CTP malzemesinden iyi sonuç aldığımız için 3, 4, 5 nolu numunelerimizde bu tozu kullanarak, sadece CTP toz miktarımızla oynayarak, değişik katkıları ekleyerek asfaltta hangi oranlarda iyi sonuç alacağımız denenmiştir.

3.nolu numunemiz ince taneli CTP tozu (karışımda %8 oranında) + Asfalt + Dolgu maddeleri

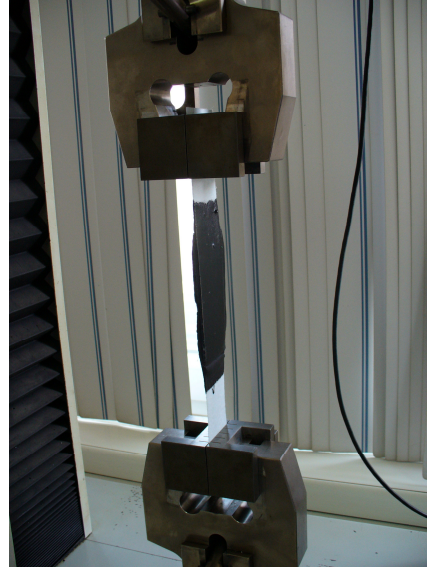
4.nolu numunemiz ince taneli CTP tozu (karışımda %5 oranında) + Asfalt + Dolgu maddeleri

5.nolu numunemiz ince taneli CTP tozu (karışımda %7 oranında) + Asfalt + Dolgu maddeleri

Karışımları belli oranlarda ısıtıp karıştırılmıştır. Bu 3 numuneye penetrasyon, yumuşama (yivli halkalı), viskozite deneylerine ilave olarak her numuneye taşıyıcı poliestere, bu numunelerin daldırılması suretiyle kayma-yapışma-kırılma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler, numune alındıktan 24 saat sonra yapıldı.



Yapışma çekme deneyi



Kayma çekme deneyi

Şekil 3.10 Yapılan kayma ve yapışma deneyleri

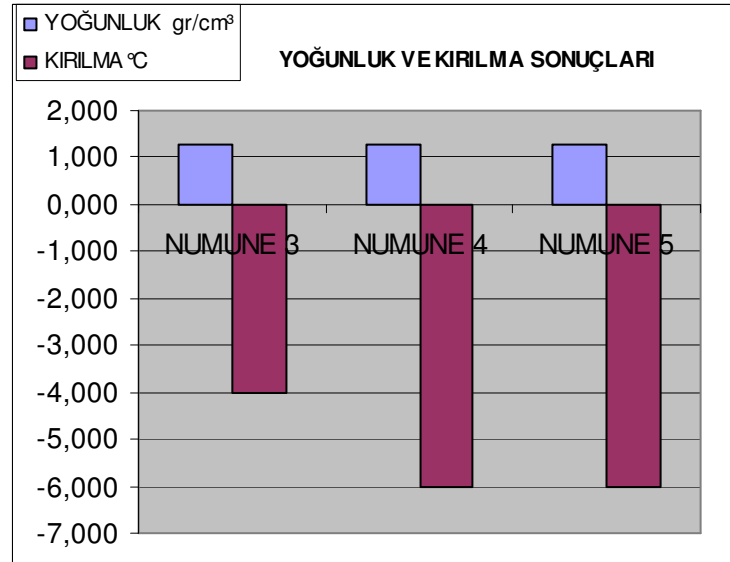
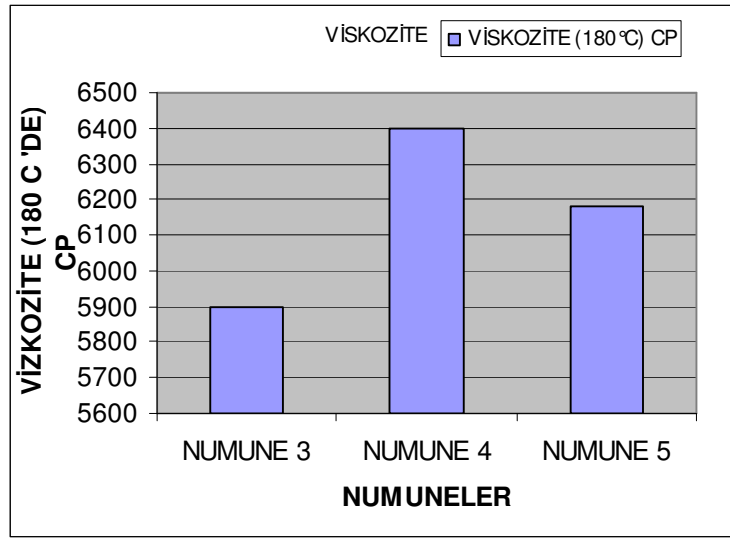


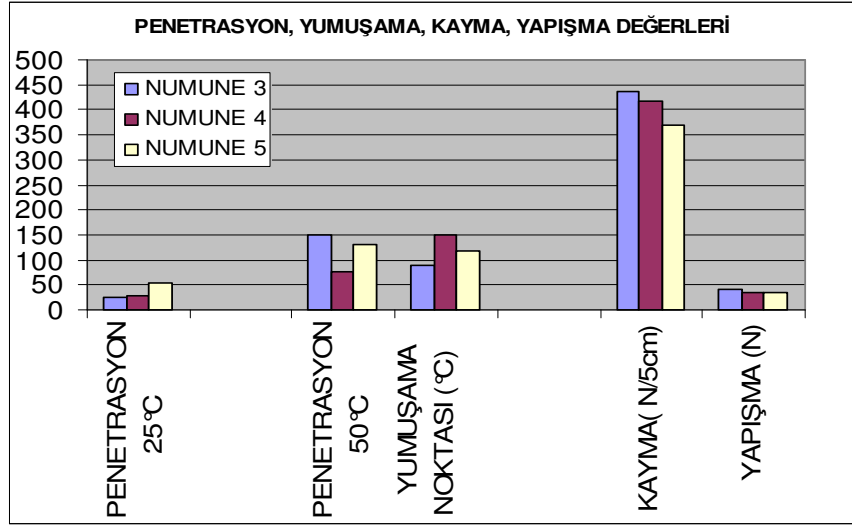
Şekil 3.11 Halka (yumuşama deneyi), kayma, yapışma ve kırılma ve penetrasyon numuneleri

Karışımlarımızı yaklaşık 3 saat, 200 derece sıcaklıkta hazırlandı. 180°C'ye soğuması beklendi, viskoziteleri ölçüldü. Bütün sonuçları bir tablo halinde göreceğ olursak Tablo 3.2. ve grafik olarak gösterimleri şöyledir:

Tablo 3.2 -3,4,5 nolu numune sonuçları;

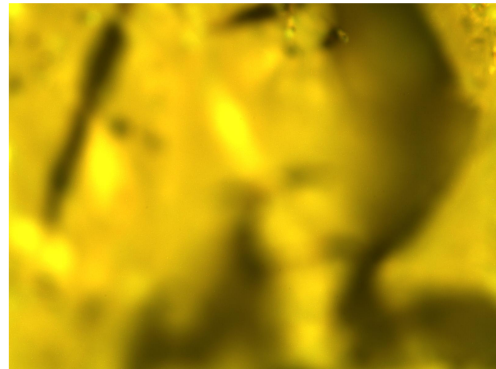
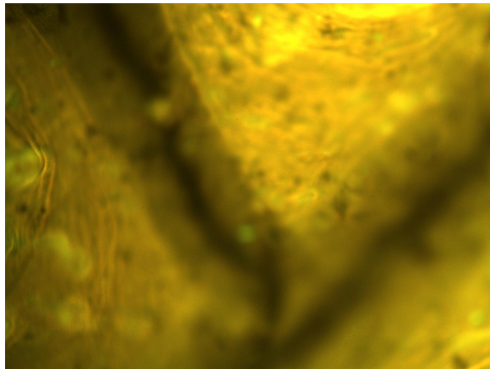
	NUMUNE 3	NUMUNE 4	NUMUNE 5
VİSKOZİTE (180°C)	5900 cp	6400 cp	6180 cp
PENETRASYON (25/50°C)	24/150	30/75	55/130
YUMUŞAMA NOKTASI (YİVLİ YÜZÜK)	90 °C	149°C	117°C
YOĞUNLUK	1.289 gr/cm ³	1.284 gr/cm ³	1.294 gr/cm ³
KAYMA	436.17 (N/5cm)	417.26 (N/5cm)	369.79 (N/5cm)
YAPIŞMA	41.12 N	34.80 N	34.95 N
KIRILMA	-4 °C	-6°C	-6°C

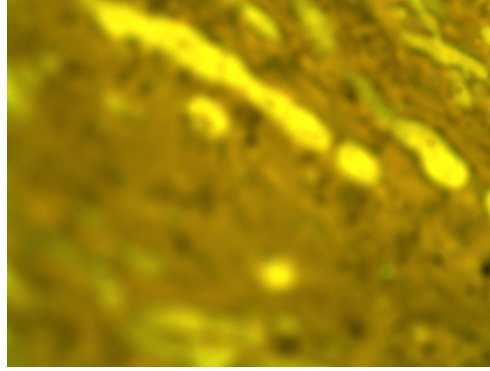




4 nolu numunemizin, özellikle yumuşama ve penetrasyon değerlerine göre iyi sonuç verdiğini görülmüştür. Bu numunemizi yaşlandırma makinesine koyup (80°C’de 168 saat) (ısısal yaşlanma) ve UV yaşlandırma cihazında (UV ışıması, yağmur altında 168 saat) (iklimsel yaşlanma) yaşlandırdıktan sonra elektron mikroskopunda incelenmiştir. Isısal ve iklimsel yaşlandırmalarda ürünün homojen yapısı bozulabilir. Asfalt ve polimer fazların ayrışmasıyla da ürün yüzeyinde çatlaklar oluşur, bu yüzden de malzemenin su geçirmezlik özelliği kaybolur. Isısal yaşlandırmayla da sıcakta akma riski araştırılır.

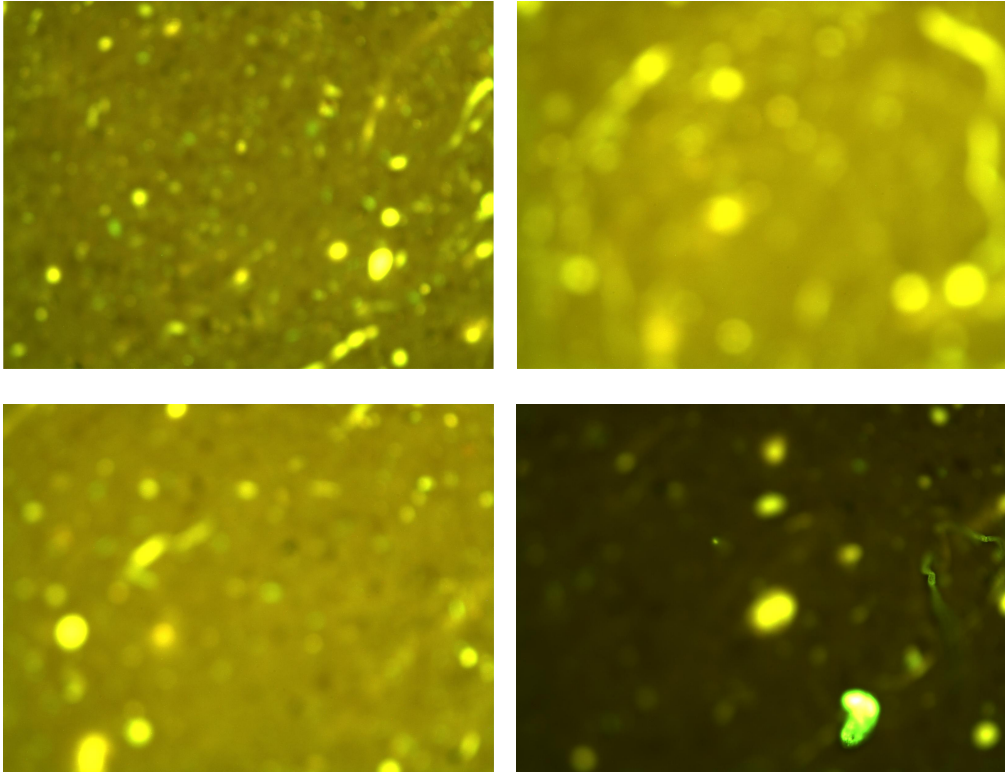
4 nolu numunenin yaşlandırma sonuçlarının, elektron mikroskopundaki görünimleri ise Şekil 3.12’de verilmiştir. (Resimdeki renkli kısımlar polimer, siyah kısımlar asfalttır)





Şekil 3.12 (4) nolu numunenin yaşlandırma sonrası elektron mikroskobu görüntüleri

Yaşlandırmadan önceki mikroskop görüntüleri ise Şekil 3.13’da görülmektedir. (Resimdeki renkli kısımlar polimer, siyah kısımlar asfalttır) Resimlerden yaşlandırma öncesinde polimerlerin homojen dağılımının, yaşlandırma sonrasında bozulduğu görülmüştür. Yaşlandırma sonrası görüntülerinden, asfalt fazın polimer faza göre çok fazla baskın olmaması sebebiyle iyi bir sonuç gözlenmiştir.



Şekil 3.13 (4) nolu numunenin yaşlandırma öncesi elektron mikroskobu görüntüleri

BÖLÜM DÖRT

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Polimer grubu malzemeler; plastikler, elastomerler, işlenmiş kauçuk ve fiberler olarak dört ana gruba ayrılırken plastikler; termoplastikler ve termosetler, elastomerler ise doğal ve yapay kauçuk olarak iki alt dala ayrılmaktadır. Termoset malzemeler; epoksi reçineler, üre formaldehit, melamin formaldehit, fenol formaldehit ve doymamış polyester reçineler olarak sınıflandırılmaktadır. Yapılan bir çok çalışma sonucunda doğru şekilde ve uygun miktarda polimer kökenli malzemelerin kullanılması durumunda bitümlü bağlayıcıların ve karışımların özelliklerini olumlu yönde etkilendiği belirlenmiştir. (Ahmedzade, Yılmaz ve Yılmaz, 2008)

Bu çalışmada termoset polimer grubuna giren cam takviyeli polyester tozunun bitümde performansları deneylerle etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında 2 farklı tane boyutundaki CTP tozlarının bitümle performans deneyleri yapılarak ince taneli toz halinin olumlu sonuçlar verdiği görülmüş, ikinci aşamada ise 3 farklı numuneyle ince taneli toz CTP farklı oranlarda katılarak bitümle performansları incelenmiştir. Bu 3 numuneden de iyi sonuçlar veren numune yaşlandırılmaya tabi tutulup elektron mikroskopunda incelenmiştir.

Bu malzeme üzerinde yapılan penetrasyon, viskozite, yumuşama ve kırılma noktası, özgül ağırlık deneyleri sonucunda ilgili şartnamelere uygun sonuçlar alınmıştır.

Sonuç olarak, karışıma eklenen %5 oranındaki CTP tozunun karışımların özelliklerini olumlu yönde etkilendiği görülmüştür. Bu sonuçlara dayanarak asfalt malzemesinin içerisine belirli oranlarda CTP katılarak hazırlanan materyalin bitümlü karışımın performansına ve dayanıklılığına etkisi katkısız asfalta nazaran daha iyi olduğundan asfalt üretiminde bu tür polimerik malzemeler kullanılabilir. Hem gelecekte CTP malzemesi atıklarının çevre kirliliğini azaltması, hem de asfalta olumlu özellikler katması avantajdır.

KAYNAKLAR

Ahmedzade P.,Yılmaz M. ve Yılmaz M. (2007), Bitümlü Bağlayıcıların Yaşlandırılmasında Kullanılan Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması, 02.03.2009, *Fırat Üniversitesi,Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 23 (1-2) 112 - 126 (2007), <http://fbe.erciyes.edu.tr/MKA-2005/Dergi/2007-vol23-no-1-2/13-2007-vol23-no-1-2.pdf>

Ahmedzade P.,Yılmaz M. ve Yılmaz M., (2008), Polyester Reçinenin Bitümlü Bağlayıcıların Yüksek Sıcaklık Performans Seviyesi Üzerindeki Etkisi, 02.03.2009, *Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 24 (1-2) 227 – 240, [http://fbe.erciyes.edu.tr/MKA-2005/Dergi/2008-vol24-no-1-2/16%2007-nmin-04%20\(son%20hali\).doc.pdf](http://fbe.erciyes.edu.tr/MKA-2005/Dergi/2008-vol24-no-1-2/16%2007-nmin-04%20(son%20hali).doc.pdf)

Akdoğan Eker A. (04.11.2008), Plastik Matrisli Kompozitler, 27.02.2009, [yildiz.edu.tr.akdogan.lessons.imalattakompozit.plastik_matrisli_kompozitler](http://yildiz.edu.tr/akdogan.lessons.imalattakompozit.plastik_matrisli_kompozitler)

Akyüz Ö.F., 2001, Plastiklerin Kullanım Alanları ve Geri Dönüşümü, Temmuz-Ağustos 2001-*PAGEV-Plastik Dergisi*, Syf.104-108

Arıkan Öztürk E.ve Çubuk M. K.,(2004), Karayolu Esnek Üstyapı Tasarımında Yeni Bir Yöntem: Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama, 02.03.2009, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 19, No 2, 2004*, http://www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2004_2/175-184.pdf

Asfalt Nedir?(b.t), 02.03.2009, <http://www.kalitekontrol.org/asfalt/asfalt-nedir.html>

Asfalt Deneyleri, 02.03.2009, <http://www.kalitekontrol.org/asfalt/asfaltdeneyleri.html>

Bartholomew, K. (December 2, 2004), Fiberglass Reinforced Plastics Recycling, 05.03.2009, mntap.umn.edu/fiber/report12-04.pdf

BeAware (Bre)(b.t), Improving resource efficiency in construction product manufacture, BeAware Supply Chain Resource Efficiency-Sector Report- Polymers- 05.03.2009, http://www.bre.co.uk/filelibrary/Polymer_Sector_Report_FINAL.pdf

Bitümlü Malzemeler(b.t), 02.03.2009, http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/bitumli.htm#BİTÜMLÜ%20MALZEMELER

Bitümlü Malzemelerin Tanımı, (b.t) (02.03.2009) <http://forum.yapisal.net/46-ulastirma/16558-bitumlu-malzemeler.html>

Broekel J., ve Scharr G. (2005) The specialities of fibre-reinforced plastics in terms of product lifecycle management, 12.04.2009, *Journal of Materials Processing Technology* 162–163, 725–729, http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TGJ-4FVCC0D-V&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=986528705&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=6e3161fa0f38a5181404bd42ed8e13bb

Broekel J.ve Scharr G., (16-19.05.2005), The specialties of fiber-reinforced plastics in terms of product lifecycle management, *Poland-worldwide congress on materials and manufacturing engineering and technology*, 05.03.2009, journalamme.org/papers_amme05.1428.pdf.PHPSESSID=ab39f85004c5b7c553aed47fdf8268e5&PHPSESSID=b93a16eb50719f9939012f2cdd4e0c32.pdf

Cam Sanayii Raporu MMP Ön Raporu, EK 2D(b.t),27.02.2009, [tubitak.gov.tr /tubitak_content_files.vizyon2023.mm.Ek2d.pdf](http://tubitak.gov.tr/tubitak_content_files.vizyon2023.mm.Ek2d.pdf)

Cam Elyaf Sanayii A.Ş., (2005), *Soru ve Cevaplar 2*, 25.02.2009,
http://www.camelyaf.com/turkce/soru_cevap/ce_takviye_2.php

Cam Elyaf Sanayii A.Ş.,(2005), *Soru ve Cevaplar 3*, 2005, 25.02.2009,
http://www.camelyaf.com/turkce/soru_cevap/plastikler_3.php

Cam Elyaf Sanayii A.Ş.,(2005), 25.02.2009,
http://www.camelyaf.com/turkce/soru_cevap/ce_diger_3.php

Cam Elyaf Sanayii A.Ş.,(2005), *Soru ve Cevaplar 5*, 25.02.2009,
[http://www.camelyaf.com /turkce/soru_cevap/ce_diger_5.php](http://www.camelyaf.com/turkce/soru_cevap/ce_diger_5.php)

Cam Elyaf Sanayii A.Ş.,(2005), *Kalıplama Metodları*, 25.02.2009, (CTP Kalıplama Metodları, 2005), http://www.camelyaf.com/turkce/ctp_kaliplama_metodlari.php

Cam Elyaf Sanayii A.Ş.,(2005), *Diğer CTP*, 25.02.2009,
[http://www.camelyaf.com /turkce /diger_ctp.php?id1=11](http://www.camelyaf.com/turkce/diger_ctp.php?id1=11)

Cam Elyaf Sanayii A.Ş.,(2005), *Yeni CTP Uygulamaları*, 25.02.2009,
http://www.camelyaf.com/turkce/yenictpuygulamalari_ctp.php?id1=1

CTP-SANDER, *Bülten Sayı1Cam Elyaf Takviyeli Plastik Sanayicileri Derneği (CTP-SANDER)* (Ağustos 2005) CTP Eki, 26.02.2009,
http://www.ctpsander.org.tr/Dokumanlar/ARALIK2005_SAYI1_CTPEKI.pdf

Çelik O.N., Yonar F. ve Ceylan S.,(b.t), Bitümlü Sıcak Karışımların Performansına Filler Etkisi, 02.03.2009, www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3103.pdf

Deniz M.T., Sönmez İ.,Yıldırım S.A.ve Eren B.K., (b.t) Kullanılmış Otomobil Lastiklerinin Bitümlü Sıcak Karışım Performansına Etkisi, 02.03.2009,
www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3208.pdf

Enşici A., Şubat 2004, Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler ve Ürün Tasarımında Kullanımları, 27.02.2009, <http://www.argeportal.com/haberler/38-makale-ve-raporlar/36-polimer-esaslmpozit-malzemeler-ve-tasarda-kullanr.html>

European Acquis for The Plastics Industry, (04/12/2008), Plastics Recycling, 27.02.2009, <http://www.pagev.org.tr/uploads/Recycling.pdf>

European Composites Industry Association-EuCIA, (b.t), Properties of fibre reinforced plastics (FRP)/composites, 05.03.2009,
nordic-composite.com.admin.common.getimg.asp.FileID=1129

Fiberline Composites A/S (b.t), Environment and disposal/ Recycling, 04.03.2009,
http://www.fiberline.com/gb/about/2758_Produktion_og_miljoe.asp

FRP Equipment, Inc&Seawolf Design,Inc.(b.t), Recycling Systems, 04.03.2009
<http://compositeworld.com/zk/recycle.shtml>

Gruber, N. (Summer 1994), Source Reduction and Recycling Opportunities for a Fiberglass Reinforced Plastics Shop, 05.03.2009,
<http://www.p2pays.org/ref/03/02708.pdf>

Hedlund-Åström A. (October 2005) Model for End of Life Treatment of Polymer Composite Materials, Doctoral thesis, Department of Machine Design Royal Institute of Technology SE-100 44 Stockholm

Kompozit Nedir?(2005-2007) ALAZ Group, Eurocomposite, 26.02.2009
<http://www.eurocomposite.com.tr/tr/aboutmat.html>

Kompozit Malzeme Nedir? (b.t), Nitro pdf professional..2009, http://www.polerfiber.com/neden_kompozit.pdf

Kompozit Hakkında...(b.t), Turkkompozit, 27.02.2009,
<http://www.turkkompozit.com/default.asp?pid=0&lng=1>

Kostopoulos V., Fotiou I.veLoutas T., June 15-19.2008, Recycling and Reuse of Glass-Polyester Composite Materials. An Experimental Study.Department of Mechanical Eng.and Aeronautics,University of Patras, Proceedings of the Polymer Processing Society 24th Annual Meeting-PPS-24-June 15-19, 2008 Salerno(Italy)

Kuloğlu N., 09.02.2000, Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler, *Turk J Engin Environ Sci.* 25 (2001), 61-67.TÜBİTAK, 02.03.2009,
[journals.tubitak.gov.tr/engineering/issues.muh-01-25-1.muh-25-1-7-0002-6.pdf](http://journals.tubitak.gov.tr/engineering/issues/muh-01-25-1.muh-25-1-7-0002-6.pdf)

Larsen K., (January/February 2009), Recycling wind turbine blades, renewable energy focus, 12.04.2009, *Elsevier 2009* Volume 9, Issue 7, Pages 70-73,
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B8JJF-4VR3TG1-1K&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=986528348&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=fa8611334eec2faee22b3055753ea4f9

Manazoğlu M., Zeren C.ve Köse M.(b.t), “Uçaklarda Gövde ve Kanat Kaplamalarında Kullanılan Grafit (Karbon)–Epoksi Kompozit Malzemeler”, 27.02.2009,
<http://oubs.iu.edu.tr/doc/418.ppt#1>

Marsh G., (June 2001), Facing up to the recycling challenge, 0034-3617/01/ 2001-Elsevier Science Ltd. All rights reserved. Reinforced plastics, 12.04.2009,

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VMX-43CTG8R-12&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=986528014&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d3e99b2c51c72eea8c13eef6ee097ba7

Onuk K.N.Z. (b.t), KOMPOZİT MALZEMELER, 22.04.2009

[gidb.itu.edu.tr/ staff.odabasi.KAANKOMP](http://gidb.itu.edu.tr/staff.odabasi.KAANKOMP)

Orhan F. İnşaat Yük. Müh. (Ankara 2005), Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları- *Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Şubesi Müdürlüğü*-Ankara

Pickering S. (b.t), Recycling of Composites-The University of Nottingham, 05.03. 2009, [http://warwick.ac.uk/atc/materials/blank/Seminar /Paper4/226,1,Recycling of Composites](http://warwick.ac.uk/atc/materials/blank/Seminar/Paper4/226,1,Recycling%20of%20Composites)

Pickering S.J. (2006), Recycling technologies for thermoset composite materials-current status, Composites: Part A 37, 1206–1215, 11.04.2009, http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TWN-4GM46JH-1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=986524356&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=b8f3939885823fead7461ad2d02140fc

Plastik Çeşitleri,(2007), 27.02.2009,

<http://www.makineforumu.net/forum/plastik-cesitleri-t15.html>

Poliform, Cam Takviyeli Polyester Plastik Kimya Sanayii ve Ticaret Ltd. Şti.(b.t), 25.02.2009, <http://www.polyesterform.com/urunhepsi.htm>

Recycling, Network group for composites in construction (b.t), 05.03.2009,

<http://ngcc.org.uk/DesktopDefault.aspx.tabindex=47&tabid=467>

ReFiber ApS (b.t), Material and Thermal Recycling of Wind Turbine Blades and other Fibreglass items by *ReFiber ApS*. Windpower since 1977, 04.03.2009, <http://www.compositesintransport.com/pdfs/composit/cluster%2007/presentations/Presentation%20-%20Recycling%20-%20ReFiber.pdf>

Reinforced plastics recycling. (Environmental), (January 2003), *Publication:Advanced Composites Bulletin*, 04.03.2009, <http://www.articlearchives.com/chemicals/plastics-rubber-industry-resins-thermosets/1906227-1.html>

Sarıbıyık M.,(2006), Hafif Yapı Tasarımında Pultrüzyon Metodu İle Üretilen Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Kullanılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22*, No 1, 199-205, 2007, 27.02.2009, mmf.gazi.edu.tr/journal.2007_1.dergi2007v22no1_sayfa199-205

Seawolf Design Inc.,(10.06.2007), Products and Services, 04.03.2009 <http://compositeworld.com/zk/recycle.shtml#frpgrinder>

Sekisui Chemical Co., Ltd. Environmental Products Company JP-0230E, Recycling Fiber Reinforced Plastic (FRP) Bathtubs, 04.03.2009, <http://www.nedo3r.com/TechSheet/JP-0230E.htm>

Selimgil İ.ve Yenier Z.,(b.t), Havacılık Sanayinde Kullanılan Kompozit Malzemeler, 25.02.2009,http://www.bayar.edu.tr/~makine/dersnotu/malzemesecimi/OO/havacilik%20kompozit.ppt?dln_slot=78&_last

Solmaz M. Y.ve Gür M. (2007), Tabakalı Kompozit Plakalarda Takviye Malzemesi ve Oryantasyon Açısının Gerilme Analizine Etkisi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları,

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 23119 – Elazığ, http://perweb.firat.edu.tr/personel/yayinlar/fua_388/388_30841.pdf

Sponberg E. W., (b.t), Recycling Dead Boats, 05.03.2009,
[gogreenfrp.com/pdfs/ RecyclingDeadBoats](http://gogreenfrp.com/pdfs/RecyclingDeadBoats)

Strong A. B. ve Mutel F.(2005), Composites 2005:Europe And The Middle East, 05.03.2009, [et.byu.edu.groups.strong.pages.articles.articles.2005europeMiddle.pdf](http://et.byu.edu/groups/strong/pages/articles.articles.2005europeMiddle.pdf)

Suna-yatçılık. (2007), Tekne Yapım Malzemeleri, 25.02.2009,
<http://www.sunayatcilik.com.tr/tekne-yapimi-malzemeleri-fethiye.html>

Tezel Z.ve Karacadağ M. (29 Ağustos-9 Eylül 2007), Polimer Katkılı Asfalt Üretiminin Araştırılması,02.03.2009,<http://calistay2008.comu.edu.tr/calistay2007/sunumlar/projeraporlari/AsfaltGrubuProjeRaporu.pdf>

Turner T.,Warrior N.ve Pickering S.,(2008), High Performance Automotive Composite Materials from Recycled Carbon Fibres, Low Carbon Generation 2008, 05.03.2009,
<http://www.lowcgen.co.uk/presentations/thurs06.pdf>

Uyar Marina, (2007), Fiberglass Tekne İmalat Sanayi-UY-MAR, 380 Sprint (00.4), 15.06.2009,
<http://www.uyarmarina.com/Databank/Scripts/prodView.asp?id product=109>

Ünal H., (2001), Plastik Atıkların Geri Kazanımı. Sakarya Üniv.Tek.Eğt.Fak. Temmuz - Ağustos 2001-PAGEV-Plastik Dergisi, 114-122

Yaşar İ. ve Arslan F. ,(11.12.1998), Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozitlerde Elyaf Hacim Oranı ve Elyaf Doğrultusunun Tribolojik Özelliklere Etkisi, *Turk J Engin Environ Sci* 24 (2000) , 181-191.Tübitak,

<http://journals.tubitak.gov.tr/engineering/issues/muh-00-24-3/muh-24-3-6-98083.pdf>

Yılmaz M. ve Ahmedzade P.,(2007), Stiren-Butadien-Stiren Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Superpave Sistemine Göre Yüksek Sıcaklık Performans Seviyesinin ve İşlenebilirliğinin Belirlenmesi, 02.03.2009, *Gazi Üniv. Müh. Mim.Fak. Der. Cilt 23*, No 3, 569-575, 2008, http://www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2008_4/811-820.pdf

Yılmaz M. ve Ahmedzade P. (2007), Saf ve Sbs Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Kısa Dönem Yaşlanmadan Sonraki Özelliklerinin İki Farklı Yaşlandırma Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi, 02.03.2009, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 23, No 3*, 569-575, 2008, http://www.mmf.gazi.edu.tr/journal/2008_3/569-575.pdf

Young Yoon K., (August 2007), New Practical and Eco-friendly Recycling method of FRP Boats, *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering* Vol. 10, No.3. pp. 181-186, 05.03.2009, [kosfic.chonnam.ac.kr.bookplsql.korjournal_pack/show_img_file.the_no=36&the_count=00249](http://kosfic.chonnam.ac.kr/bookplsql.korjournal_pack/show_img_file.the_no=36&the_count=00249)

Young Yoon K., (August 2007), Developing Practical Recycling methods of FRP Boats, *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering* Vol. 10, No.3. pp.167-172, 05.03.2009, [kosfic.chonnam.ac.kr.bookplsql.korjournal_pack/show_img_file.the_no=36&the_count=00247](http://kosfic.chonnam.ac.kr/bookplsql.korjournal_pack/show_img_file.the_no=36&the_count=00247)

Zenger Ltd. Şti (2008), Zenger Mobilya ve Dekoratif Yapı Elemanları Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, 27.02.2009, <http://www.zengeretc.com/tr/?page=faq>