

GEMİ KÖKENLİ ATIK OLARAK ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLERİN ÖMÜR DÖNGÜSÜ YÖNETİMİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

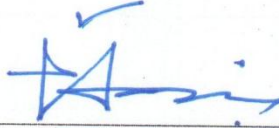
Gemi İnşaatı Bölümü, Deniz Bilimleri Teknolojisi Ana Bilim Dalı

Vural AYTEKİN

**Ekim, 2011
İZMİR**

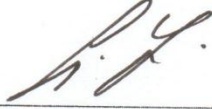
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Vural AYTEKİN, tarafından Doç. Dr. GÖKDENİZ NEŞER yönetiminde hazırlanan “GEMİ KÖKENLİ ATIK OLARAK ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLERİN ÖMÜR DÖNGÜSÜ YÖNETİMİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



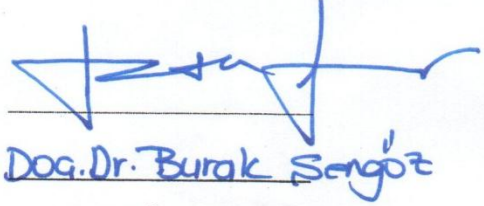
Doç. Dr. Gökdeniz NEŞER

Danışman



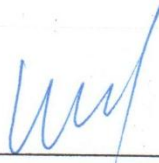
Doç. Dr. Gınar Yeni

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Burak Sengöz

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin ilk gününden beri, hiçbir konuda ilgisini ve bilgisini benden esirgemeyen ve beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Gökdeniz NEŞER başta olmak üzere, laboratuvar çalışmalarına imkân sağlayan ve destekleyen Bitümlü Tecrit Malzemeleri Sanayi ve Ticaret A.Ş ve Arge Müdürü Sayın Şadan AKTAN’a deneylerin yapılmasında zamanını paylaşan değerli ekibi Sayın Işıl TEZEL’e, Sayın Yusuf MERT’e, malzeme temininde yardımcı olan TÜPRAŞ İzmir Rafinerisi Müdürlüğü ve Makine Yağları Ünite Şefi Sayın Noyan KIRAN’a, desteklerini her zaman yanımda hissettiğim Sayın Tolga KAPTAN’a, Elman BAĞCILAR’a ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Vural AYTEKİN

GEMİ KÖKENLİ ATIK OLARK ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK KOMPOZİTLERİN ÖMÜR DÖNGÜSÜ YÖNETİMİ

ÖZ

Termoset polimer kompozitler kullanılmak suretiyle inşa edilen tekne endüstrisi, adı geçen malzemenin geri dönüşümünün zorlukları temelinde oldukça yakın bir gelecekte yasal kısıtlamalarla karşı karşıya kalacaktır. Endüstrinin bu sorununa bugünden ekonomik çözümler aranması malzeme ve gemi inşaatı alanında çalışan araştırmacıların gündeminin ilk sıralarını işgal etmektedir.

Bu çalışmada, tekne ömür döngüsü içinde yeralan geri dönüşüm etkinliği için bir alternatif yol önerilmektedir: mekanik yöntemle öğütülen atık tekne malzemesinin bitümlü çatı kaplama malzemesinin modifikasyonunda kullanımı.

Bu bağlamda cam takviyeli polyester geri dönüşüm malzemesi, Tüpraş'tan temin edilen 160/220; 70/100; 50/70 ve MC30 dört farklı bitümle ağırlıkça yüzde 1, 3, 5, 10, 20 ve 30 oranında karıştırılarak elde edilen malzeme üzerinde, tanecik boyutlarını belirlemek için gerçekleştirilen Elek Analizi'nin (ASTM D451 - 91) ardından aşağıda listesi sunulan deneyler gerçekleştirilmiştir:

- Penetrasyon (TS EN 1426 / TS 11758)
- Viskozite (ASTM 2196-99 / TS-132)
- Yumuşama noktası (TS EN 1427 / TS 11758)
- Kırılma noktası (TS EN 1109 / TS EN 13164, LMT 058)
- Akma (sıcaklık dayanım) noktası (TS EN 1110, TS 13047, TS EN 544 / TS EN 13164, LMT058)
- Yaşlanma (TS EN 60811 / TS 7202)

Elde edilen oldukça olumlu sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve bu geri dönüşüm seçeneğinin zamana yayılı performansı yaşlandırma deneyleriyle test edilmiştir.

Deney sonuçlarına göre yaşlandırma sonrası tekrarlanan yumuşama noktası, penetrasyon, viskozite, kırılma sıcaklığı ve akma noktası değerleri, yumuşama öncesi deney sonuçlarına yakın değerlerdedir. Bu bağlamda yaşlandırma sonrasındaki malzeme nitelikleri katkısız bitümden daha yüksek olup, karışımın kendinden beklenen işlevini gerçekleştirebilecektir.

Anahtar sözcükler : Gemi kökenli atık, elyaf takviyeli plastik kompozitler, ömür döngüsü yönetimi

LIFE CYCLE MANAGEMENT OF FIBER REINFORCED PLASTICS AS SHIP ORIGINATED WASTE MATERIALS

ABSTRACT

Boat building industry using polymer based thermoset composites has been faced with legislative limitations due to the recycling difficulties of related materials. To find the cost-effective solutions for this problem is one of the urgent agenda items of the researchers in the fields of materials and ship sciences.

An alternative way of recycling activities in the life cycle of a boat was proposed in this study: usage of composite boats' waste material in the modification of bitumen based roof coating materials.

In this context, boat building caused waste material was mixed with the asphalts rated as 160/220, 70/100, 50/70 and MC30 supplied by TUPRAS petrochemical refinery by the percentages of 1, 3, 5, 10, 20 and 30% in weight. The tests on modified specimens listed below were performed after sieving in accordance with ASTM D451-91:

- Penetration (TS EN 1426 / TS 11758)
- Viscosity (ASTM 2196-99 / TS-132)
- Softening point (TS EN 1427 / TS 11758)
- Breaking point (TS EN 1109 / TS EN 13164, LMT 058)
- Yieldpoint (TS EN 1110, TS 13047, TS EN 544 / TS EN 13164, LMT058)
- Aging (TS EN 60811 / TS 7202)

Obtained results have been presented comparatively and to evaluate of performance of the mixture in time domain, aging tests have been performed. Above listed tests were repeated after aging and results of modified specimens have been found better than control ones.

Keywords : Ship originated waste materials, fiber-reinforced plastic composites, life cycle management.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

1.1 Termoset Kompozit Malzemelerinde Geri Dönüşüm Sorunsalı.....	1
1.2 Geri Dönüşüm Teknolojileri	4
1.2.1 Mekanik Geri Dönüşüm	5
1.2.2 Termal İşleme	8
1.2.2.1 Enerji ve malzeme edinme amacıyla yakma	8
1.2.2.2 Sıvılaştırılmış yatakla ısı işlemler kullanılarak lif eldesi	10
1.2.2.3 Cam lifli kompozitlerin piroliz süreci	12
1.3 Çalışmanın Amacı.....	14
1.4 Yaşlanma.....	16
1.4.1 Yaşlanmayı Etkileyen Faktörler	17
1.4.1.1 Oksidasyon	18
1.4.1.2 Buharlaştırma veya Uçucu Madde Kaybı	20
1.4.1.3 Sızıntı Sertleşmesi	20
1.4.1.4 Tikotropi	21
1.4.1.5 Sinerisis	21
1.4.1.6 Polimerizasyon	21
1.5 Yaşlanmanın Kimyasal Analizi	22
1.6 Bitümlü Bağlayıcıyı ve Bitümlü Sıcak Karışımları Yaşlandırma Yöntemleri.....	24
1.6.1 Bitümlü Bağlayıcıyı Yaşlandırma Yöntemleri	24
1.6.1.1 Genişletilmiş Sıcaklık Yöntemleri	24
1.6.1.2 Oksidasyon Yöntemleri.....	27
1.6.1.3 Morötesi ve Kızıl Ötesi Işık Yöntemleri	28
1.7 Bitümlü Sıcak Karışımları Yaşlandırma Yöntemleri.....	29

1.7.1 Geliştirilmiş Sıcaklık Yöntemleri	29
1.7.2 Oksidasyon Yöntemleri	32
1.7.3 Morötesi ve Kızılötesi Işık Yöntemleri	32
1.8 Bitüm.....	35
1.8.1 Asfalt.....	37
1.9 Tekne Atık Malzemesi Olarak Cam Takviyeli Polyester	39

BÖLÜM İKİ - MATERYAL VE YÖNTEM..... 40

2.1 Deney ve Analizler.....	40
2.1.1. Penetrasyon Deneyi	42
2.1.2 Viskozite Deneyi	43
2.1.2.1 Dönel Viskozimetre (RV) Deneyi	43
2.2.3 Yumuşama Noktası Deneyi	44
2.2.4 Kırılma (Düşük Sıcaklıklarda Esneklik) Noktası Deneyi.....	45
2.2.5 Akma (Sıcaklık Dayanımı) Sıcaklığı Deneyi	46

BÖLÜM ÜÇ - DENEY SONUÇLARI 48

3.1 Katkı Malzemesi Oranının Belirlenmesi.....	48
3.1.1 Bitümlü Bağlayıcıların Isıya Karşı Duyarlılığı (Penetrasyon İndeksi).....	51
3.2 Yaşlandırma Deneyi Sonuçları	52

BÖLÜM DÖRT - DEĞERLENDİRME 58

KAYNAKÇA 61

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Termoset Kompozit Malzemelerinde Geri Dönüşüm Sorunsalı

Termoset kompozit malzemelere, bu çalışmanın kapsamında yeralan tekne üretim endüstrisinin de içinde bulunduğu, özellikle otomotiv ve inşaat endüstrilerini de içeren geniş bir uygulama alanında başvurulmaktadır. Anılan malzemeler, yüksek mekanik niteliklerin gerekmediği, kısa cam liflerin ve düşük maliyetli dolgularla işlenmiş polyester reçinelerin kullanıldığı “ucuz” diye nitelenebilecek uygulamalardan, özellikle havacılık endüstrisinin talep ettiği, uzun, süreklilik arz eden karbon liflerin epoksi ile işlendiği yüksek nitelikli uygulamalara dek oldukça geniş bir çeşitlilik içindedir.

Üretim boyutu bağlamında bir örnek vermek gerekirse Avrupa Birliği ülkelerinde yaklaşık bir milyon ton termoset kompozit üretilmektedir (Bos, 2002).

Termoset kompozit malzemelerin oldukça başarılı uygulamaları olmasına karşın, ürünün ömrünü tamamlamasının ardından geri dönüşümü sorunun çözümü son derece zordur. Geri dönüşüm konusundaki belirginleşen sorunlar artan bir önemle gündeme gelmekte ve kompozit malzemelerin gelişmesinin ve hatta bazı pazarlarda kullanımının önünde bir engel olarak ortaya çıkmaktadır (Sims & Bishop, 2001).

Termoset polimerler, çapraz bağlı olup kolaylıkla tekrar eritilebilen termoplastik polimerlerin tersine tekrar şekillendirilemezler. Poliüretan gibi bazı termoset polimerlerin kendi orijinal monomerlerine dönüştürülmesi kolaylıkla mümkünse de, polyester ve epoksi gibi daha yaygın kullanımda olan reçinelerin orijinal içeriklerine depolimerize edilmesinin pratikte bir uygulaması yoktur.

Kompozitler tanımları gereği polimer, lifli güçlendiriciler (cam, karbon, vb.) ve çoğu zaman dolgular (bunlar çoğunlukla reçineyi genişletmeye yarayan veya yangın geciktiricilik gibi fonksiyonlar üstlenen nispeten ucuz mineral dolgulardır) gibi farklı

malzemelerden oluşur. Malzeme tasarımı konusu, birkaç standart formülasyonla çözülebilmekle birlikte, birçok uygulama alanı için reçinenin, güçlendiricinin ve dolgu malzemelerinin tipleri ve oranları sonuçta elde edilmek istenen ürüne göre belirlenmektedir.

Kompozitler, çoğunlukla diğer malzemelerle birlikte çalışacak şekilde üretilirler. Örneğin köpük nüve malzemeleri ağırlık ve maliyeti azaltmak için, bir metal bağlantı ise farklı bileşenlere bağlantı sağlamak amacıyla kompozitlerle birlikte kullanılır.

Bu kendine özgü problemlere ilave olarak, herhangi bir malzemedan üretilmiş ve ekonomik ömrünü doldurmuş bileşenin geri dönüşümüne ilişkin olarak, hurda malzemenin toplanması, tanımlanması, sınıflandırılması ve ayrıştırılmasının zorlukları, çevreye yayılmasının önlenmesi gibi problemler de kompozit üretimi endüstrisinin önünde çözülmeyi beklemektedir.

Gerek sonlu olduğu bilinen kaynakların kullanımının sınırlandırılması, gerekse atıkların yönetilmesi ihtiyacı bağlamında çevresel endişeler, kullanım ömrünü tamamlamış olan malzemelerin geri dönüşümü konusunda gerek sektör aktörleri, gerekse karar vericiler üzerinde artan bir baskı yaratmaktadır.

Metal endüstrilerinde olduğu gibi, geri dönüşümün ekonomik olarak karlı olduğu süreçler, ekonomik kuralların geçerli olduğu, iyi örgütlenmiş bir şekilde yürütülmektedir. Polimerler söz konusu olduğunda ise geri dönüşüm zorlaşmaktadır ve bu işe kalkışmak ekonomik olarak cazip olmamaktadır (özellikle gömme yöntemiyle atık gideriminin ucuz olduğu hallerde). Bu bağlamda vergi gibi, ekonomik araçları da kullanan yasal düzenlemeler, çevreyi korumak adına devreye girmelidir (Bos, 2002).

Atık yönetimi, özellikle Avrupa Birliği'nde yüksek önceliğe sahip olup, aşağıdaki hiyerarşik düzeni sağlayacak yaklaşımlarla geliştirilmiştir:

- İmalat sırasında başlayan bir yaklaşımla atığı kaynağında önleme
- Bir ürünü tekrar kullanma
- Malzemenin geri dönüştürülmesi
- Atıkların yakılması
- Malzeme ve enerji elde etmek amacıyla
- Enerji elde etmek amacıyla
- Enerji elde etmeden
- Gömme

Yıllardan beri kompozit atıklar, özellikle Birleşik Krallık'ta gömme yöntemiyle bertaraf edilmekteydi. Yeni gündeme gelen AB Atıkların Gömülmesi Direktifi (EU Directive on Landfill of Waste, Directive 99/31/EC) organik maddelerin gömülme miktarlarında azaltımlar öngörmektedir. Bununla birlikte, birçok AB ülkesinde kompozit atıkların gömülmesi yasal değildir.

AB'deki diğer direktifler daha çok atık akışı / yönetimi ile ilgilidir. Örneğin, Ömrünü Tamamlamış Taşıt Araçları Direktifi (End-of-Life Vehicle Directive, Directive 2000/53/EC) taşıt araçlarının bertarafı ile ilgili düzenlemeler içermektedir ve aşağıdaki gereklilikleri gündeme getirir:

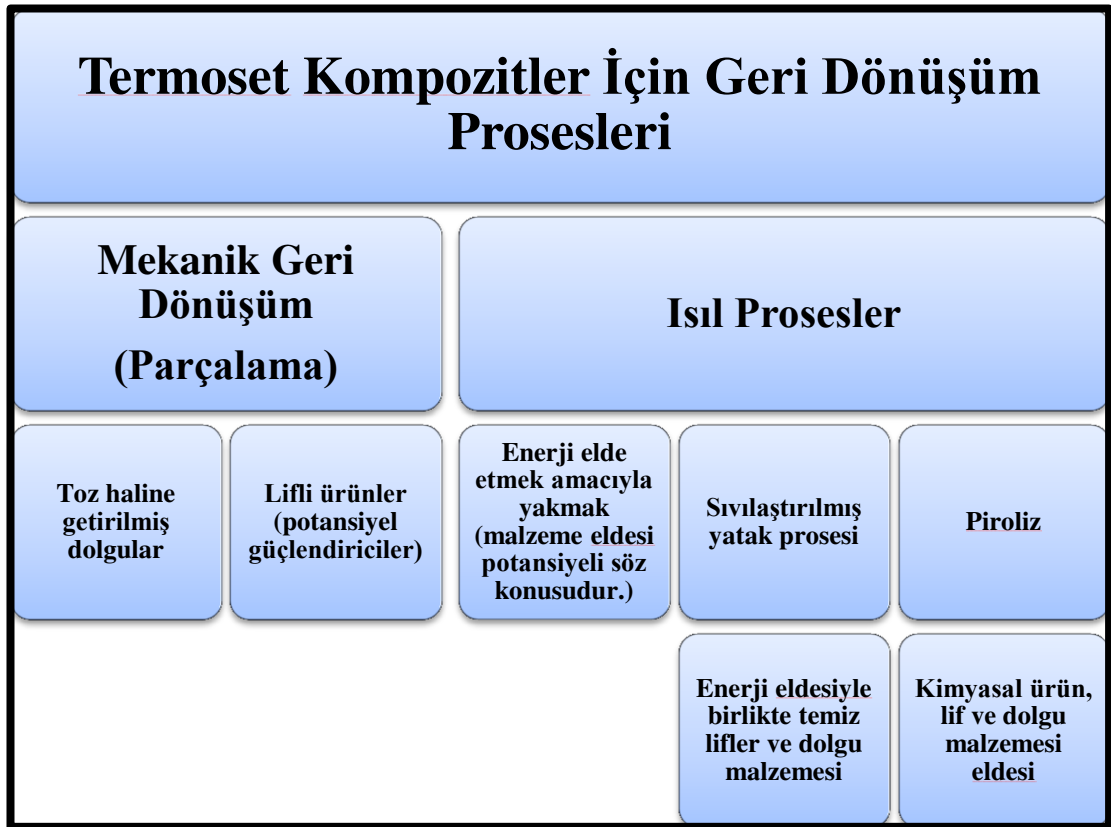
- 2006'dan itibaren, bütün ömrünü tamamlamış araçların ağırlıklarının %85'i yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir veya enerji elde etmek amacıyla kullanılabilir. Sadece %15 oranında ağırlıktaki malzeme gömme yöntemiyle bertaraf edilebilir.
- 2015'ten itibaren ise bütün ömrünü tamamlamış araçların ağırlıklarının %85'i yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir. Geri kalan ağırlığın %10'u enerji sağlamak amacıyla kullanılabilir ve ancak %5'i gömme yöntemiyle bertaraf edilebilir.
- 2007'den itibaren bir aracı bertaraf etmek araç üreticisinin sorumluluğundadır.

Yani 2005 tarihinden itibaren üretilen / üretilecek olan araçlar 2015 yılının gerekliliklerini sağlamalıdır.

Artan yasal zorunluluklar sonucunda uygun bir geri dönüşüm metodolojisinin / yolunun kurulması ve uygun teknolojilerin tanımlanması gerekliliği araştırmacıların gündemini işgal etmektedir.

1.2 Geri Dönüşüm Teknolojileri

Termoset kompozit malzemeler için çok sayıda geri dönüşüm teknolojisi önerilmiştir ki bunların bir özeti Şekil 1.1’de görülmektedir.



Şekil 1.1 Termoset kompozitler için geri dönüşüm prosesleri

Anılan teknolojiler temelde iki süreç kategorisine indirgenebilir: geri dönüşüm hammaddesi yaratmak için hurda malzemeyi küçük parçalara ayırma / parçalama amaçlı mekanik teknikler ve hurdayı malzeme ve enerji olarak ayrıştırmaya yönelik ısı prosesi.

1.2.1 Mekanik Geri Dönüşüm

Literatürde rastlandığı kadarıyla, mekanik geri dönüşüm teknikleri, güçlendirici olarak cam ve karbon lifleri içeren kompozitler için araştırılmış, uygulanmıştır. Bunlardan cam elyafı olanlar çok daha yaygın olarak incelenmiştir. Bu teknikte, öncelikle hurda malzemenin boyutu başlangıçtaki kırma işlemiyle küçültülmektedir. Bu aşamada çoğunlukla düşük hızlı kesme ve kırma değirmeni kullanılmakta ve malzeme boyutu 50 – 100 mm'ye dek azaltılmaktadır. Bu aşamada, eğer içermekseyse metal bağlantılar, eklentiler de ayrıştırılmakta, hurda malzeme çok daha yalın ve taşımaya uygun hale getirilmektedir. Ardında ana öğütme işlemi bir çekiç değirmen veya daha yüksek hızlı bir değirmen yardımıyla gerçekleştirilmekte ve bunun sonucunda malzeme boyutları 10 mm'den 50 µm'ye değişebilen daha ince ürüne doğru düşmektedir.

Daha sonra genellikle hortum ve elek yardımıyla gerçekleştirilen bir sınıflandırma işlemiyle elde edilen geri dönüşüm malzemesi farklı boyutlarda ayrıştırılmaktadır (Curcuras vd., 1991; Hert ve Carey, 1992; Schert, 1998).

Mekanik geri dönüşüm sürecinde, özgün kompozitin tüm içeriğinin boyutu küçülür ve bunlar dönüşüm hammaddesinde polimer, elyaf ve dolgu maddelerinin birer karışımı olarak yer alırlar. Tipik olarak en ince boyuttaki parçalar toz halindedir ve özgün kompozitten daha yüksek oranda polimer ve dolgu malzemesi içerirler. Daha kaba parçalar lifli yapı arz eder ve özgün malzemeye göre daha yüksek oranda lif içerirler.

Bugün birçok şirket endüstriyel boyutta geri dönüşüm etkinliği göstermektedir ki bunlar arasında Almanya'da ERCOM ve Kanada'da Phoenix Fiberglass dikkat

çekmektedir (Curcuras vd., 1991). Bu şirketler operasyonlarını en yaygın kullanılan iki tip termoset cam elyafı kompozit malzeme temelinde yürütmektedir: yığın kalıp bileşeni (bulk moulding compound, BMC) ve tabaka kalıp bileşeni (sheet moulding compound, SMC). Bu kompozitler genellikle polyester reçine temelli olmakta ve yüksek oranda dolgu malzemesi içermektedir. Bu dolgu malzemeleri genellikle kalsiyum karbonat ya da yanma geciktirici alümina trihidrattır.

ERCOM'un sürecinde, hareketli bir öğütücü başlangıçtaki boyutların azaltılmasında kullanılmaktadır. Bu tüm donanımın pahalı bir parçası olup, mobil olması nedeniyle çeşitli konumlarda boyut azaltma işlemini gerçekleştirmekte, böylelikle malzemenin yığın yoğunluğunu arttırmakta ve taşınmayı daha düşük bir maliyette gerçekleştirmektedir.

Bu öğütücü, hurdayı 50 mm x 50 mm boyutlarına indirmekte ve böylelikle yaklaşık 300 kg/m³ yoğunluğunda bir yığına ulaşılmaktadır. Merkezi işlemin yapıldığı yerde, bir çekiç değirmeni hurdanın parçalanması için kullanılmıştır. Bunu takiben hortum ve elekler ise parçacıkların ayırıştırma işinde kullanılmıştır.

Çekiç değirmeni (öğütücü) bir çarpma sürecini işletmektedir ki bunun da hurdayı düzgün kesmek için bıçağa olan gereksinimi ortadan kaldırdığı görülür. Phoenix'in sürecinde ise (Sims vd., 1993), ekranlar ve havalı sınıflandırıcıların kullanıldığı derecelendirmeden önce bir öncekine benzer iki aşamalı parçalama ve parçacıklara ayırma prosesinin yer aldığı görülür.

Elde edilen hammaddelerin geniş bir ölçekteki uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ince toz formunda olanlar yeni SMC ve BMC'lerde kalsiyum karbonatın yerini alacak dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama, mekanik özelliklerde %10'luk bir azalmaya yol açsa da bu düşüş çoğunlukla karşılanabilir. Bununla birlikte, daha yüksek oranlarda kullanım problemler yaratmaktadır. Bunun neden dönüştürülmüş hammaddenin daha çok reçine absorbe etmesi ve böylelikle kalıplama bileşeninin viskozitesinde artışa yol açmasıdır. Ayrıca fazla kullanım mekanik özelliklerde de belirgin düşüslere yol açacaktır (Bledzki vd., 1992; Butler,

1991). Dönüştürülmüş hammadde belirgin miktarda düşük yoğunluklu polimer içermesi nedeniyle kalsiyum karbonattan daha düşük yoğunluğa sahiptir ki, böylelikle %10 dönüştürülmüş hammadde içeren bir SMC, sadece kalsiyum karbonat dolgu malzemesiyle oluşturulmuş olandan %5 daha hafif olmaktadır (Scheirs, 1998).

Daha büyük boyutlu geri dönüşüm hammaddelerinin içeriğinde bulunan belirgin orandaki lifler nedeniyle, bu kaba parçaların çok az miktarda da olsa dolgu malzemelerinin yerine kullanılması mukavemette ve toklukta önemli düşüşlere neden olmaktadır. Dönüştürülmüş malzeme ve polimer arasındaki bağlantının azlığı ve büyük parçaların gerilme artırıcı olarak çalışmaları bunun nedenlerini açıklamaktadır. Fakat son araştırmalar, dönüştürülmüş malzemenin iyileştirilmesiyle bağlantı oranının arttırılabileceğini ve bunun da mekanik özelliklere olumlu olarak yansıtacağını göstermektedir. Bir başka çalışmada (DeRosa, 2004) lif boyunun etkisi araştırılmıştır ve kısa kalıp bileşenlerde (BMC), lifli dönüştürülmüş malzemenin kısmen de olsa kısa cam elyafların yerine kullanılabileceği, geri kalan boşlukları doldurabileceği ve böylelikle uzun lifleri ikame edebileceği görülmektedir.

İlaveten uzun liflerin kullanımı her zaman çok daha yüksek mukavemetli ürünlerin üretilmesini sağlamaktadır ve aynı zamanda dönüştürülmüş malzemenin istenmeyen etkilerini de azaltacaktır.

Termoset geri dönüştürülmüş malzemenin uygulamaları, bu malzemenin tekrar termoset döküm yığını içine dahil edilmeden de gerçekleştirilmektedir. Bu malzemelerin termoplastikler içinde geri dönüşümü (Butler, 1991) ve Brunel Üniversitesi'nde ise yeni bir çiftli proses ile dönüştürülmesi çalışmaları yapılmaktadır (Bream ve Hornsby, 2002a, b). Genelde dönüştürülmüş malzemenin özgün malzemeye göre düşük nitelikleri olmakla birlikte katkı malzemeleri kullanımı yoluyla bu malzemelerin güçlendirme niteliklerinin %45 ile 65 arasında arttırılabileceği görülmüştür. Yapılacak geliştirmelerin en yararlı etkileri çekme mukavemeti ve tokluk üzerinde olmaktadır (Bream ve Hornsby, 2002a).

Dönüştürülmüş malzeme, kendine özgü nitelikleri ön plana çıkarmak suretiyle iyileştirilebilir. İsveçli SICOMP tarafından üretilen RECYCORE (Skrifvars,2011) cam lifli kaba dönüşüm malzemesi içermektedir. Bu dönüştürülmüş malzeme nüvesinin partikül boyutu 1 mm'den 25 mm'ye kadar değişmektedir ve ağırlığının %70'i kadarını güçlendirici malzeme oluşturmaktadır. Burada özel bir tür yarar söz konusudur: dönüştürülmüş malzeme, çekirdek malzemeye yüksek bir permabilite (geçirgenlik) sağlamaktadır ki bu da reçine emişi sırasındaki akışı kolaylaştırmaktadır. Benzer bir çalışmada da ne tür dönüştürülmüş malzemenin kullanımının kompozitin sönümünü arttıracak araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar ses izolasyonunu iyileştirmekte kullanılmıştır.

Birleşik Krallık'taki Building Research Establishment tarafından yapılan yeni bir çalışmada da dönüştürülmüş termoset malzemenin, ağaç lif malzemeye alternatif olacak şekilde plastik kereste yapımında kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır (Conroy vd., 2004; Halliway ve Reynolds,2003). Kaba dönüşüm malzemesinin asfaltta güçlendirici olarak kullanıldığı da olmuştur (Neşer vd., 2010).

1.2.2 Termal İşleme

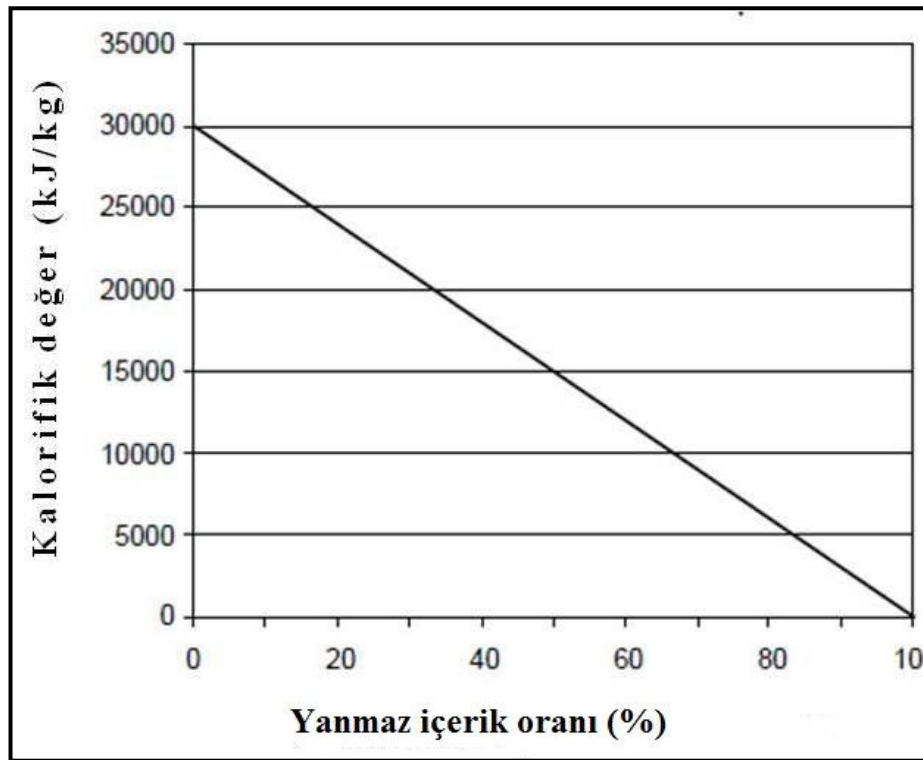
1.2.2.1 Enerji ve malzeme edinme amacıyla yakma

Termoset polimerlerin bütün diğer organik malzemeler gibi bir kalorifik değeri vardır ve enerji kaynağı olarak yararlanılmak üzere yakılabilirler. Polyester, vinilester, fenolik ürea formaldehit ve epoksi reçineler için kalorifik değerler hali hazırda yayınlanmış durumdadır(Pickering ve Benson, 1991).

Kalorifik değeri 15700 kJ/kg olan ürea formaldehit dışında diğer reçinelerin bu değeri 30000 kJ/kg olarak göz önüne alınmaktadır. Çoğunlukla kullanılan lifler ve dolgu malzemeleri yanabilir olmadıkları için cam takviyeli malzemelerin kalorifik değerleri sadece polimer oranına bağlı olarak gösterilebilir (Şekil 1.2). Bazı mineral dolgu malzemeleri ise ayrışır ve yanma sırasındaki enerjiyi sönümlerler. Yangın geciktiriciler tam da bu amaç için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yangın

geciktiricilerin etkisinin başlangıç tutuşmasını ve alevin yayılmasını azaltmak olmasına rağmen, sönümlediği enerji miktarı reçinenin kalorifik değerinden oldukça küçük kalmaktadır. Örneğin, alümina trihidratın sönümlediği enerji miktarı 1000 kJ/kg'dır. Yani, kompozit içinde polimer kadar alümina hidrat olsa bile bu miktar toplam kalorifik değeri ancak %3.3 kadar düşürecektir. Benzer şekilde, bir başka yaygın olarak kullanılan dolgu malzemesi olan kalsiyum karbonat 700 - 900°C'ler arasında bileşenlerine ayrılır ve 1800 kJ/kg enerjiyi sönümler.

Ağırlıkça polimer kadar kalsiyum karbonat içeren bir kompozitte kalorifik değer %6 oranında düşecektir.



Şekil 1.2 Termoset kompozitlerin kalorifik değeri

Yakma deneyleri (Pickering ve Benson, 1991) kompozitlerin enerji elde etmek amacıyla başarılı bir şekilde yakılabildiklerini göstermektedir. %10 kentsel atıkla karıştırılmış hurda kompozitlerin yakılmasının, özellikle gömme yönteminin yasaklandığı durumlarda uygulanabilir bir yöntem olduğu görülmüştür.

Yanmayan malzemeden değer üretmek amacıyla hurda kompozitlerin çimento ocaklarında yakılması, kompozitlerin içinde bulunan mineraller ve cam güçlendiricilerin çimentoya katılmasını sağlayan iyi bir yol olarak görülmektedir. Bu minerallerin çimento üretim prosesine etkileri de incelenmiş olup (Pickering ve

Benson, 1993), tek problemin E-cam liflerinde bulunan boron tarafından yaratıldığı görülmüştür. Çimentonun içindeki fazla boron çimentonun nihai mukavemet değerlerini etkilememekle birlikte kürleşme süresini uzatmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda, çimento üretim sürecinde kullanılan kompozitler %0.2 borondioksit eyle açmayacak kadar ise çimentonun performansında belirgin bir olumsuzluğa yol açmayacağı görülmüştür. Bu demektir ki, çimento fırınına gereken yakıt miktarının en fazla %10'u kompozit malzemeyle karşılanmalıdır.

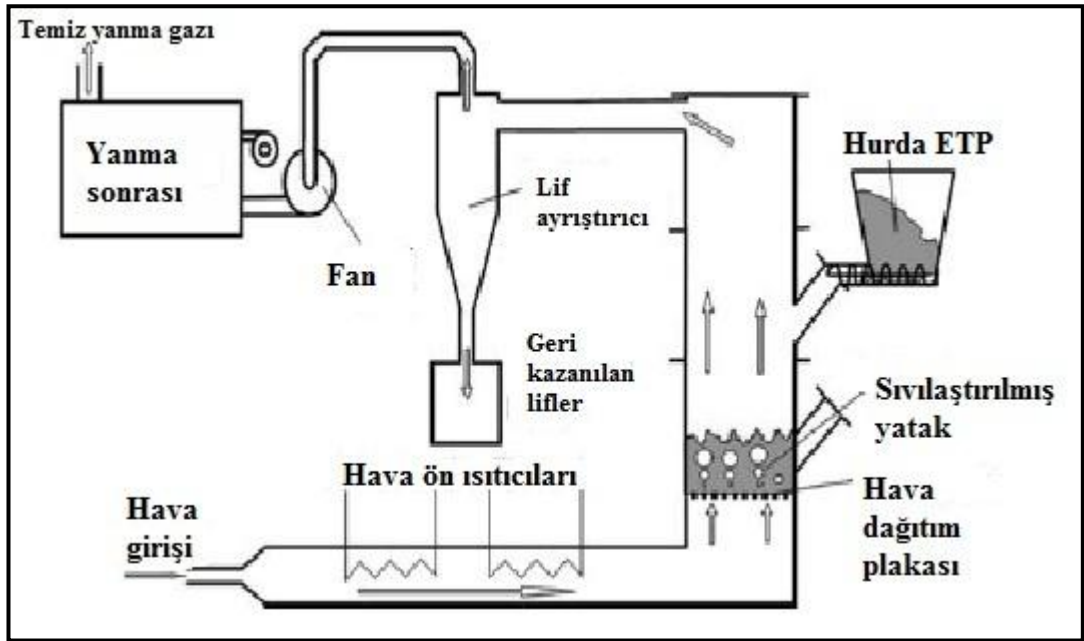
Bu yaklaşıma bir alternatif de hurda kompozitlerin özel bir fırın sisteminde kömür ile birlikte yakılmasıdır (Fenwick ve Pickering, 1994). Bu durumda, kompozitin içindeki kalsiyum karbonat dolgu kömürün yanması nedeniyle ortaya çıkan sülfürün oksidini sönümleyerek oluşacak sülfür emisyonunu da azaltacaktır.

1.2.2.2 Sıvılaştırılmış yatakla ısıt işlemler kullanılarak lif eldesi

Lif güçlendiriciler, kompozit içinde yer alan, potansiyel olarak en çok geri elde edilebilir değerlerdir. Nottingham Üniversitesi'nde on yılı aşkın süredir yürütülen araştırmaların temasını hurda haldeki cam ve karbon liflerle güçlendirilmiş kompozitlerden yüksek nitelikli cam ve karbon lifi güçlendiricileri elde etmek üzere sıvılaştırılmış yataklı bir süreç geliştirmek oluşturmaktadır (Pickering vd., 2000; Yip vd., 2002). Bu çalışmada, hurda kompozitler başlangıç boyu olarak 25 mm çapında parçacıklara ayrıştırılmakta ve bunlarla sıvılaştırılmış yatak beslenmektedir. Bu, partikül boyutu 0.85 mm civarında olan silika kum bir yataktır. Bu kum, 450 – 500°C sıcaklık aralığında, 0.4 – 1.0 m/s hızda bir sıcak hava ile sıvılaştırılmaktadır. Sıvılaştırılmış yatakta, polimer kompozitten uçmaktadır ve lifler ile dolgu malzemelerini gaz akışı içinde asılı kalacak şekilde geride bırakmaktadır. Polimer daha sonra yüksek sıcaklıklı ikinci bir yanma odasından geçmekle tamamen okside

bir hale gelmektedir. Enerji bu sıcak yanma ürünlerinden elde edilmektedir. Şekil 1.3’de bu sürece ilişkin diyagram yer almaktadır.

Bu süreç hem cam lifleri, hem de karbon lifleri elde etmek amacıyla geliştirilmiştir. Lif ürün, yumuşak ve kaba tüylü bir formdadır, 6 mm’den 10 mm’yi aşkın bir ağırlıkça ortalama boyu vardır. Lifler temizdir ve çok az yüzey bulaşıklığı gösterirler. Bir cam ile güçlendirilmiş polyester kompozit, polimerlerin uçucu hale geleceği ve liflerin gaz akışı içinde salınacağı hale 450°C’de gerçekleşen bir prosesile varır. Epoksi reçine ise polimerin hızla uçuşu için 550°C’ye varan yüksek sıcaklıkları gereksinir.



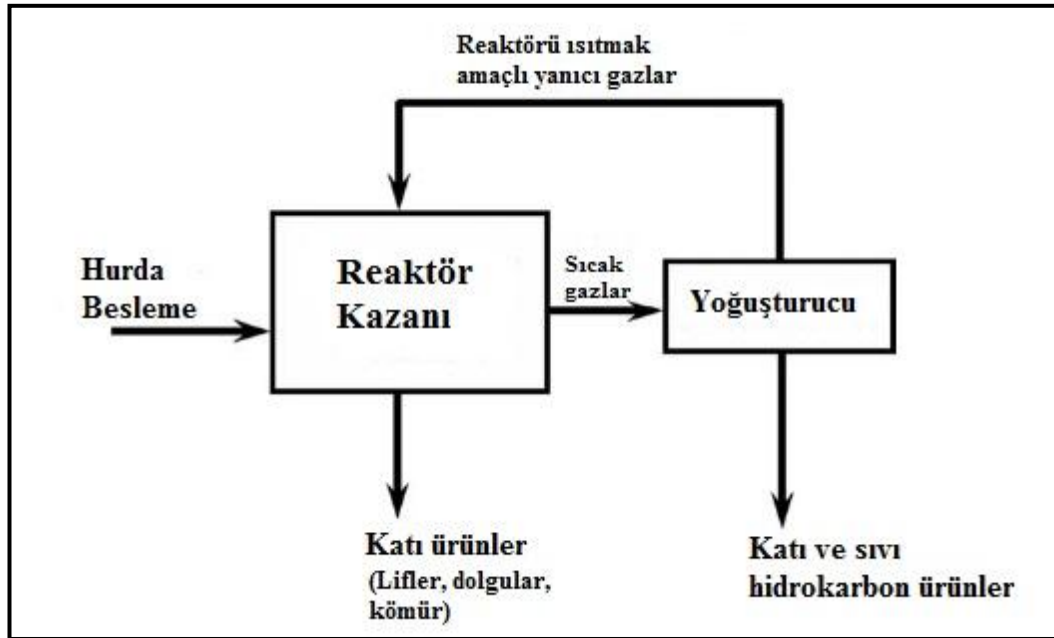
Şekil 1.3 Sıvılaştırılmış yatak geri dönüşüm işlemi

Mekanik özelliklerin ölçümleri de 450°C’de işlenen geri dönüştürülen cam liflerinin çekme mukavemetinde %50 oranında düşme olduğu, fakat katılıkların orijinal cam lifiyle aynı değerde olduğunu göstermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise mekanik mukavemetteki düşüşün daha yüksek düzeyde olduğu görülmektedir. Örneğin 650°C’de işlem gören lifin mukavemeti %90 oranında düşmüştür (Thomas, 1960). Önemle belirtmek gerekir ki, sıvılaştırılmış yatakta gerçekleştirilen ısıtım işlemi, cam liflerinin üzerindeki diğer mukavemet artırıcı muamelelerin etkisini de azaltmaktadır.

Sıvılaştırılmış yatak prosesinin en belirgin avantajı karışık ve kontamine olmuş malzemeleri çok iyi tolare etmesidir. Her polimer tipli kompozitler proses edilebilmekte ve bu proses boyanmış yüzeylere veya sandviç konstrüksiyon kompozitlerdeki nüve malzemelerin varlığına karşı da çalışabilmektedir. Kompozitlerdeki metal elemanların da önceden çıkarılması gerekmemektedir, bunlar prosesin sonunda yataktaki kumdan kolaylıkla ayrışabilmektedir.

1.2.2.3 Cam lifli kompozitlerin piroliz süreci

Bir piroliz sürecinde, yanıcı bir malzeme oksijensiz ortamda ısıtılmaktadır. Bu koşullarda malzeme, en düşük molekül ağırlık içeriklerine (sıvı ve gaz) ayrışmakta ve ayrıca ortaya bir katı karbon kömür ürünü çıkmaktadır. Piroliz, hurda kompozitteki polimerden öyle bir madde elde etmeyi önermektedir ki bu yöntemin başka kimyasal süreçler için hammadde üretme potansiyeli doğmaktadır. Tipik bir piroliz sürecinin diyagramı Şekil 1.4'te sunulmaktadır. Bu diyagramda, ortaya çıkan gazların proses için ısı sağlamak amacıyla yakıt olarak kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 1.4 Proliz süreci

Hurda kompozitlerin piroliz prosesi, birçoklarının üzerinde çalışılmış bir konudur. ABD’de, SMC Automotive Alliance piroliz çalışmalarına 1900’lerin başında başlamıştır (Curcuras vd., 1991). Proses sıcaklığı 700 – 1000°C olup, yığın işlemek için kurulan tesis araba tekerleklerini piroliz etmekteydi. Bu proses, piroliz odasının ısıtılması için gerekli yakıt gazını üretmekteydi, bununla birlikte sıvı yağ ürünleri ve inorganik lifler, katı dolgular ve kömür kalıntılarından oluşan yan ürünler söz konusuydu. Katı kalıntılar ince toz şeklinde öğütülmüş olup, bunların yeni

SMC’lerde kullanım olanakları da araştırılmıştır. %30’a kadar öğütülmüş katı kalıntının SMC içinde kullanımının proste veya döküm parçaların mekanik niteliklerinde olumsuz etki yaratmadığı görülmüştür. Piroliz yağının kimyasal nitelikleri üzerinde çalışılmamış fakat kompozisyonunun ağır petrole (heavy crude oil) yakın olduğu raporlanmıştır.

Cam liflerin iyi koşullarda elde edilmesi halinde ortaya çıkan katı malzemenin de potansiyel bir değer içerdiği görülmektedir. Düşük sıcaklıktaki piroliz işlemi de ayrıca araştırılmıştır (Soh vd., 1994). Bu proses, 400°C’deki sıcaklıkların kullanılmasını ve buharın varlığını içermektedir ki bu koşullar polimer bozunmasını arttırmakta, liflerin katı piroliz yapısından çok daha kolay ayrışmasını sağlamaktadır. Kalan katı ürünler, asitle parçalama yöntemiyle temizlenmekte, bu aşamada kalsiyum karbonat katkıları çıkarılmakta ve kalsiyum klorid yaprakçıklar halinde geri kazanılmaktadır. Sonuçta, 400°C’lik piroliz sıcaklığı polimeri bozundurmak için gerekli bulunmakta, fakat bu durumda liflerin özgün kırılma enerjilerinin sadece %50’sinin kaybolduğu görülmektedir.

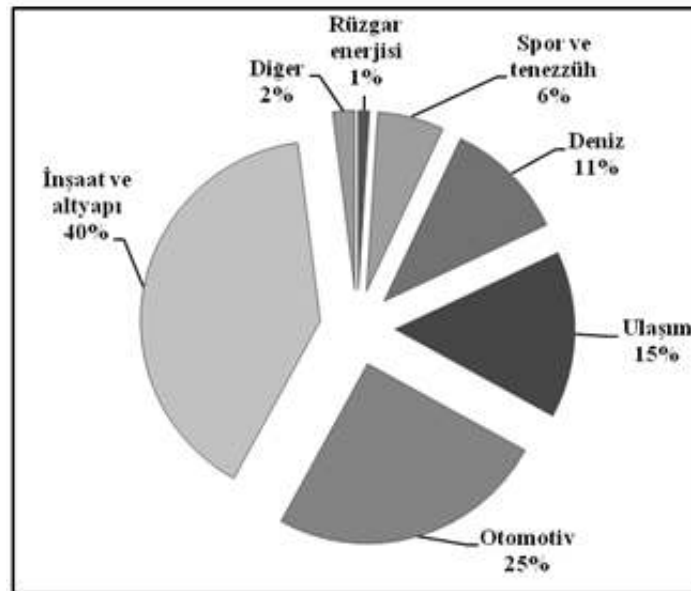
Yakın dönemlerde, kompozitlerin pirolizi konusunda Leed Üniversitesi’nce ve Bilbao Mühendislik Okulu’na öncelikli çalışmalar yürütülmüştür (Cunliffe vd., 2003). Bu çalışma, 300 – 700°C arasında gerçekleştirilen bir polyester SMC’nin pirolizine ilişkindir. Tipik bir polyester ve cam yünü içeren SMC’nin polyesterinin ayrışması için 400°C’nin altında gerçekleşen pirolizin yeterli olmadığı görülmüş olup, 400 – 700°C arasında üretilen piroliz ürünleri yeterli bulunmuştur. Piroliz gazlarının temel olarak CO₂ ve CO içerdiği ve bu gazların kalorifik değerlerinin 14 MJ/Nm³ gibi

düşük değerde olduğu görülmüştür. Sıvı ürünlerin ise karmaşık bir organik karışım halinde olduğu, %66 oranında aromatik bileşenler, %25 oranında keton, karboksilik asitler, alkilbenzen ve aril naphthalen gibi oksijenli bileşenler içerdiği ve kalorifik değerinin 37 MJ/kg ile fuel oil'e yakın olduğu tespit edilmiştir.

1.3 Çalışmanın Amacı

Yukarıdaki girişten de anlaşılacağı ısı geri dönüşüm işlemleri başka maddelerle birlikte olan, onlardan etkilenmiş kompozit hurdalar için doğru bir seçenek iken mekanik geri dönüşüm prosesi, görece olarak temiz, başka maddelerden etkilenmemiş ve kaynağı bilinen hurda kompozit maddeler için oldukça uygun bir yöntemdir. Geliştirilen teknolojilerle potansiyel yeniden kullanım alanı bulabilen toz halinde veya lifli ürünler üretilebilmektedir.

Türkiye'de polyester reçine talebinin yılda 80 – 85 bin ton olduğu ve bu talebin her yıl % 7 – 10 civarında artış gösterdiği tahmin edilmekte olup cam takviyeli plastik üretiminin sektörlere göre dağılımı ise Şekil 1.5'te sunulmaktadır (Jacob, 2009).



Şekil 1.5 Türkiye'de cam takviyeli plastik kullanımının sektörlere göre dağılımı

Yeni gelişmekte olan ve küresel rekabetçilik kazanma yolundaki kompozit endüstrisinin bu aşama, yakın zaman içinde yaşayacağı geri dönüşüm sorunlarına çözüm üretmesi gerekliliği doğmuştur.

Bu çalışma, mekanik geri dönüşüm seçeneklerinden olan öğütülmüş ürünlerin kullanımına odaklanmıştır. Kompozit tekne üretimi ve geri dönüşümü sırasında oluşan hammaddenin bitüm esaslı çatı kaplamalarında kullanımı fikri ilk kez, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yürütülen bit yüksek lisans tez çalışmasında ele alınmıştır (Özkara, 2009).

Anılan çalışmada öncelikle, iki farklı boyutta elde edilen geri dönüşüm hammaddelerinin viskoziteleri ve performans testleri gerçekleştirilmiş olup, bunların sonucunda ancak küçük boyutlu parçacıkların kullanılabilir / işlenebilir olduğu görülmüştür. Ardından boyutu uygun atık malzemeler ağırlıkça üç ayrı oranda (%5, %7 ve %8) olmak üzere bitüme ilave edilmişlerdir. Katkılı bitümler üzerinde yapılan penetrasyon, yumuşama noktası, Frass kırılma noktası deneyleri ve viskozite, özgül ağırlık gibi ölçümlerin ardından en uygun değerlerin %5'le sağlanabileceği görülmüştür. Bu çalışmanın son aşaması olarak da hızlandırılmış yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiş olup, karışımın performansını görebilmek için Taramalı Elektron Mikroskobu görüntülerinden yararlanılmıştır.

Bu çalışmada ise, cam takviyeli polyester geri dönüşüm malzemesi, Tüpraş'tan temin edilen 160/220; 70/100; 50/70 ve MC30 dört farklı asfalta ağırlıkça %1, 3, 5, 10, 20 ve 30 oranında karıştırılarak elde edilen malzeme üzerinde, tanacık boyutlarını belirlemek için gerçekleştirilen Elek Analizi'nin (ASTM D451 - 91) ardından aşağıda listesi sunulan deneyler gerçekleştirilmiştir:

- Penetrasyon (TS EN 1426 / TS 11758)
- Viskozite (ASTM 2196-99 / TS-132)
- Yumuşama noktası (TS EN 1427 / TS 11758)
- Kırılma noktası (TS EN 1109 / TS EN 13164, LMT 058)

- Akma (sıcaklık dayanım) noktası (TS EN 1110, TS 13047, TS EN 544 / TS EN 13164, LMT058)
- Yaşlanma (TS EN 60811 / TS 7202)

Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve oldukça olumlu sonuçlar elde edilen bu geri dönüşüm seçeneğinin zamana yayılı performansı yaşlandırma deneyleriyle test edilmiştir.

1.4 Yaşlanma

Bitümlü bağlayıcının asfalt kaplama performansını doğrudan etkileyen en önemli özelliği dayanıklılığıdır.

Bitümlü bağlayıcının dayanıklılığı sertleşmeye karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmektedir. Bitümlü bağlayıcının çeşitli nedenlerden dolayı sertleşmesine de “yaşlanma” veya “zamana bağlı yaşlanma” denilmektedir.

Yaşlanma, kaplamanın yapımı sırasında bağlayıcının hafif bileşenlerinin buharlaşması ve oksidasyonudur. Oksidasyon, yolun servis ömrü boyunca da devam etmektedir. Her iki durumda, bağlayıcının viskozitesinin artışı, penetrasyon değerinin düşmesine ve karışımın sertleşmesine neden olmaktadır. Bu durum karışımın kırılabilirliğini ve çatlaklara karşı duyarlılığını arttırmaktadır (Vallegre, 1981).

Yapılan ayrıntılı çalışmalar, yaşlanmanın iki aşamada oluştuğunu göstermektedir.

1-Kısa Dönem Yaşlanma

2-Uzun Dönem Yaşlanma

Kısa dönem yaşlanma, sıcak karışımın depolanma, plente taşınma, plente karıştırılma, şantiyeye taşınma, serilme ve sıkıştırılma işlemleri sırasında; uzun dönem yaşlanma ise, yolun servis ömrü boyunca oluşmaktadır. Bu bölümde, yaşlanma üzerinde etkili olan faktörler, yaşlanmanın kimyasal analizi, kaplama

yapımının değişik aşamalarında bitümlü bağlayıcı yaşlanması, bitümlü bağlayıcının ve karışımların yaşlandırılmasına ilişkin yöntemler, çalışmada kullanılan yaşlandırma ve değerlendirme yöntemleri ve bitümlü sıcak karışımların yaşlanmasında etkili karışım parametreleri incelenecektir.

1.4.1 Yaşlanmayı Etkileyen Faktörler

Bitümlü bağlayıcının zamanla sertleşmesine ve giderek özelliklerini kaybetmesinde etkili faktörler ilk kez Dow (1903) tarafından ortaya atılmıştır.

Yapılan çalışmada, sıcak karışımdan geri kazanılan bitümlü bağlayıcının ağırlık ve penetrasyon özellikleri incelenmiştir. Traxler (1961), bağlayıcının yaşlanma özelliklerine etkileyen faktörleri dört sınıfta incelemiştir. Bunlar:

- Oksidasyon,
- Buharlaşma veya uçucu madde kaybı,
- Polimerizasyon (aktif ışığa bağlı olarak),
- Yoğunlaşma polimerizasyonu (ısıya bağlı olarak).

Traxler, yukarıda sayılan bütün etkilerin zaman içinde değiştiğini belirtmiştir. Traxler (1963), yaptığı diğer bir çalışmada, bağlayıcının yaşlanma özelliklerini etkileyen faktörleri 15'e çıkartmıştır (Tablo 1.1). Traxler'in yayını bu etkileri destekleyen deneysel çalışmalara dayanmaktadır.

Daha sonraları Petersen (1984), karışımların yaşlanmasına ilişkin faktörleri üç temel sınıfta incelemiştir.

- Buharlaşma ya da absorbsiyon sonucu asfalt içindeki yağ parçacıklarının azalması,
- Atmosferdeki oksijen ile reaksiyona giren (oksidasyon) bağlayıcı kompozisyonundaki değişme
- Moleküler yapının tiksotropik etkileri.

Yaşlanma ve etkilerini inceleyen araştırmacılar, Petersen tarafından verilen faktörlere bağlı kalarak çalışmalar yapmışlardır.

Genel olarak, bağlayıcının zamanla sertleşmesine yol açan faktörler aşağıda açıklanmıştır (Uluçaylı, 1998).

1.4.1.1 Oksidasyon

Oksidasyon, bitümlü bağlayıcının yaşlanmasında rol oynayan önemli faktörlerden biridir. Organik moleküllerden oluşması nedeni ile bitümlü bağlayıcıların oksidasyonu, bağlayıcının hidrokarbon bileşenlerinin havanın oksijeni ile birleşmesi şeklinde tanımlanmaktadır (The Shell Bitumen Handbook, 1990). Bu reaksiyonda bitüm, hidrojen ve karbonun bir kısmını kaybetmektedir.

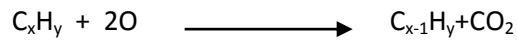
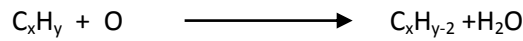
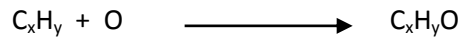
Tablo 1.1 Bitümlü bağlayıcının yaşlanmasını etkileyen faktörler (Traxler, 1963)

Etkiler	Etkilerin Bağlı Olduğu Nedenler				Etkilerin Meydana Geldiği Yer		Önlemler
	Zaman	Isı	Oksijen	Güneş ışığı	Yüzeyde	Kütlede	
1.Oksidasyon (ışıksız ortam)	X	X	X		X	-	1-İnert atmosfer 2-Radikal önleyiciler
2.Fotooksidasyon (direkt ışık)	X	X	X	X	X	-	1-Işıktan koruma 2-İnert atmosfer 3-Radikal önleyiciler
3.Buharlaşıma	X	X	-	-	X	X	1-Sıcaktan koruma
4.Fotooksidasyon (yansıyan ışık)	X	X	X	X	X	-	1-Işıktan koruma 2-İnert atmosfer 3-Radikal önleyiciler
5 Fotokimyasal (direkt ışık)	X	X	-	X	X	X	1-Işıktan koruma 2-Katkı kullanımı
6.Fotokimyasal (yansıyan ışık)	X	X	-	X	X	X	1-Işıktan koruma 2-Katkı kullanımı
7.Polimerizasyon	X	X	-	-	X	X	1-Radikal önleyiciler

Tablo 1.1 (Devam)

8.Tiksotropi	X		-	-	X	-	1-Dağılan katkı eklenmesi 2-Bağlayıcının kaynağının değiştirilmesi
9.Sinerisis	X	X	-	-	X	-	1-Bağlayıcının parafin içeriğinin azaltılması
10.Nükleer enerjiye bağlı değişim	X	X	-	-	X	X	-----
11.Suyun etkisi	X	X	X	X	X	-	1-Bağlayıcı kaynağının değiştirilmesi
12.Katı absorpsiyonu	X	X	-	-	X	X	1-Bağlayıcının dağılmasını sağlanması
13.Katı yüzeyinde bileşenlerin absorpsiyonu	X	X	-	-	X	-	-----
14.Kimyasal reaksiyonlar veya ara fazda katalitik etkiler	X	X	-	-	X	X	-----
15.Mikrobiyolojik bozulma	X	X	X	-	X	X	1-Bakteriostatik fungistatik katkı eklenmesi

Bitümün kimyasal formülü C_xH_y şeklinde ifade edilirse, bu reaksiyonlar aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Hunter, 1994).



Bu reaksiyonların oluşması yukarıdan aşağıya doğru daha fazla aktivasyon enerjisini (ısı ve ışık) gerektirmektedir.

Birinci tip reaksiyon hava ile temas eden yüzeyde meydana gelmekte ve bir kabuk oluşmaktadır. Bu kabuk hasar görmezse, içeriye oksijen girişini engellemekte ve oksidasyon olayı yavaşlamaktadır. Kabuk aynı zamanda bağlayıcıdaki uçucu yağların buharlaşmasına da engel olduğundan sertleşme gecikmektedir. Bu yüzden

agrega daneleri üzerindeki bağlayıcı filminin mümkün olduğu kadar kalın olması istenir. Ancak fazla bitümün kuma ve stabilite düşüşüne neden olmaması için film kalınlığının optimum değerinin saptanması gerekmektedir. (Agrega danelerini saran bağlayıcı film kalınlığının oksidasyon üzerindeki etkisi deneysel çalışmalar kısmında yer almaktadır).

Rafinerilerde oksidasyon işlemi “air blown asphalt” elde etmek için isteyerek yapılmaktadır. Bu işlem, özel bir tankta kalıntı asfalt içine sıcak hava üflenerek kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmekte ve ikinci tip reaksiyon meydana gelmektedir. Bu reaksiyon sonucu bağlayıcı aşağıda sıralanan değişime uğramaktadır:

- Penetrasyon değeri düşmektedir,
- Yumuşama noktası yükselmektedir,
- Sıcaklık değişimine karşı duyarlılığı (temperature susceptibility) azalmaktadır (Uluçaylı, 1998).

Bitümlü bağlayıcının agrega ile karıştırılması, sıkıştırılması ve servis ömür boyunca yaşlanma özellikleri ilerleyen bölümlerde ele alınacaktır.

1.4.1.2 Buharlaşıma veya Uçucu Madde Kaybı

Bitümlü bağlayıcı bünyesinde az da olsa bulunan uçucu maddeler, zamanla ve/veya sıcaklık nedeni ile uçarak bağlayıcının sertleşmesine neden olmaktadır. Penetrasyon cinsi bitümler göreceli olarak daha az uçucu olmakta ve dolayısıyla uçucu bileşen kaybından kaynaklanan sertleşme miktarı daha az olmaktadır.

1.4.1.3 Sızıntı Sertleşmesi

Sızıntı sertleşmesi, bitümden mineral agrega içersine yağlı bileşenlerin sızmasından kaynaklanmaktadır. Bu tür sertleşme, hem bitümün sızıntı eğiliminin hem de agreganın porozitesinin bir fonksiyonudur.

1.4.1.4 Tiksotropi

Tiksotropi, bitümlü bağlayıcılarda çok sık karşılaşılan bir olaydır. Bitümlü bir bağlayıcı, düşük sıcaklıkta kendi haline bırakılınca zamanla artan bir rijitlik kazanmaktadır. Bu rijitliğin sebebi bağlayıcının uçucu bileşenlerinin buharlaşması veya sıcaklığın değişmesi olmayıp, bağlayıcının kolloidal yapısıdır. Kolloidal yapının etkisi ile bağlayıcı belirli bir durgunluk süresinden sonra, soğukta, sünger şeklini andıran, üç ekseninde gerilmiş ağ biçiminde ancak elektronik mikroskopta görülebilecek bir yapı kazanmaktadır. Bu yapı zamanla güçlenerek, bağlayıcıya, dış kuvvetler karşısında, elastik cisimlerininkine benzeyen bir rijitlik kazandırmaktadır. Fakat mekanik bir sarsıntı sonunda bu rijitlik kaybolmaktadır. Aynı rijitliği elde edebilmek için bağlayıcıyı belirli süre bekletmek gerekmektedir.

Sıcaklığın artışı da bağlayıcının tiksotropiye bağlı rijitliği üzerinde mekanik bir sarsıntıya eşdeğer etkiler doğurmaktadır. Çünkü sıcaklık artışı ile bağlayıcının misellerden oluşan rijitlik dokusu bozulmakta ve miseller birbirlerinden ayrılmaya başlamaktadır. Bunun sonunda bağlayıcı rijitliğini kaybetmektedir.

Özet olarak tiksotropi, kolloidal bir eriyin mekanik veya termik etkiler altında rijitliğini kaybetmesi ve diğer bütün fizik koşulların değişmemesi şartı ile belirli bir durgunluk süresi sonunda aynı rijitliği tekrar kazanması özelliğidir (Ağar, 1997).

1.4.1.5 Sinerisis

Asfaltın yapısında meydana gelen değişiklik yüzünden yağlı bir film tabakasının yüzeye çıkması olayıdır.

1.4.1.6 Polimerizasyon

Bağlayıcının hidrokarbon zincirinin zamanla değişime uğraması ve moleküllerin büyümesi olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıda sayılan faktörlerin en önemlileri oksidasyon ve buharlaşmadır. Bu iki faktör bağlayıcının yapısındaki kimyasal değişiklik nedeni ile oluşmaktadır. Diğer faktörler ise sadece fiziksel nedenlere bağlıdır. Fiziksel yaşlanmaya maruz kalmış bağlayıcılar orijinal viskozite değerine kadar ısıtılacak olursa yaşlanma büyük ölçüde giderilmekte ancak oksidasyon sertleşmesi kesinlikle giderilememektedir.

1.5 Yaşlanmanın Kimyasal Analizi

Asfalt teknolojisinde, asfaltın kompozisyonu ve yapısı tam olarak anlaşılmış değildir. Bunun sebebi, diğer organik malzemelere kıyasla asfalt kimyasının çok karmaşık olmasıdır.

Bitümlü bağlayıcının kompozisyonuna bakıldığında, asfaltın, doymuş hidrokarbonlar, aromatikler ve polar aromatiklerden oluştuğu görülmektedir (Tuffour ve diğ., 1989). Tablo 1.2’de yaşlanmamış bağlayıcılara ait analiz sonuçları verilmektedir.

Tablo 1.2 Yaşlanmamış bağlayıcılara ilişkin bileşenler (Tuffour ve diğ., 1989)

Örnek	A	B	C	D	E
%Asfaltın	17.05	13.73	13.29	16.16	15.59.
%Doymuşlar	18.28	5.18	6.95	16.22	15.76
%Aromatikler	27.55	19.66	23.04	26.34	25.26
%Polar aromatikler	35.97	59.90	55.77	40.49	42.12

Yapılan çalışmalar, yaşlanma işlemi sırasında bağlayıcıda daha fazla asfaltın bileşenlerinin oluştuğu, doymuş bileşen yüzdelерinin değişmediğini göstermiştir. Ayrıca polar ve naftan aromatik yüzdelерinin de düştüğü ortaya çıkmıştır. Tablo 1.3’te asfalt kaplamadan alınan örnekler üzerinde yapılan analiz sonuçları verilmektedir.

Tablo 1.3 Asfalt kaplamadan geri kazanılmış bağlayıcı bileşenleri (Tuffour ve diğ., 1989)

Örnek	A	B	C	D	E
%Asfalten	37.56	36.37	33.36	33.02	36.86
%Doygunlar	14.93	14.80	14.87	16.69	14.09
%Aromatikler	14.43	17.26	14.87	15.44	16.50
%Polar aromatikler	33.26	31.19	36.48	34.44	31.44

Bağlayıcıda bulunan doymuş hidrokarbonların avantajı, oranları (%) arttırıldığında kimyasal değişimlere ve yaşlanma etkilerine daha dirençli hale gelmeleridir. Yaşlanma olayı sırasında aromatik bileşenlerin hangilerinin asfaltene dönüştüğü bilinmemesine karşın, asfalten içeriklerinin bağlayıcının viskozitelerini arttırdıkları belirlenmiştir (Petersen, 1993).

Konu ile ilgili yapılan diğer çalışmalar, bağlayıcının tek bir bileşeni ile yaşlanma davranışının incelenmesinin doğru sonuçlar vermeyeceğini göstermiştir. Ishai (1987), yaşlanma davranışının “Gaestel İndeksi (IC)” ile daha iyi açıklanabileceğini ve bu indeks ile bağlayıcının reolojik özellikleri (penetrasyon, viskozite) arasında sıkı bir ilişkinin olduğunu belirtmiştir. Gaestel İndeksi, hidrokarbonun asfalten ve doymuş bileşenlerinin toplamının, naften aromatik ve polar aromatik bileşenlerinin toplamına oranı şeklinde ifade edilmektedir.

$$IC = \frac{Asfalten + Doygunlar}{Naftenaromatikler + Polararomatikler}$$

Yapılan deneysel çalışmalar yaşlandırılmış bağlayıcıların Gaestel İndeksi değerlerinin, yaşlandırılmamış bağlayıcılara oranla daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Yukarıda ana hatları ile açıklanan bitümlü bağlayıcının yaşlanmasının incelenmesi, kaplama performansının tahmini bakımından yeterli olmamaktadır.

Çünkü yaşlanmayı hem bağlayıcı hem de karışım özellikleri etkilemektedir. Deneysel çalışmalar bölümünde yaşlanma olayı, bitümlü sıcak karışımlar gözönüne alınarak incelenmiştir.

1.6 Bitümlü Bağlayıcıyı ve Bitümlü Sıcak Karışımları Yaşlandırma Yöntemleri

Bu bölümde bitümlü bağlayıcıların ve bitümlü sıcak karışımların yaşlandırılma yöntemleri üç başlık altında incelenecek ve bu yöntemleri kullanan araştırmacıların çalışmaları bir tabloda özetlenecektir.

1.6.1 Bitümlü Bağlayıcıyı Yaşlandırma Yöntemleri

Bu bölümde bitümlü bağlayıcıları yaşlandırma yöntemleri genişletilmiş sıcaklık, oksidasyon, mor ve kızıl ötesi ışık yöntemleri olmak üzere üç ana başlık altında incelenecektir.

1.6.1.1 Genişletilmiş Sıcaklık Yöntemleri

1.6.1.1.1 İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT). Lewis ve Welborn (1940), bağlayıcıların buharlaşma ve sertleşme özelliklerinin saptanması için ince film halinde ısıtma deney aletini geliştirmişlerdir. Bu deneyde yaklaşık 3 mm kalınlığında bağlayıcı, 140 mm çapındaki düz kaplarda, 163°C’de 5 saat süre ile ısıtılmış ve daha sonra bağlayıcı üzerine penetrasyon, duktilite ve yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır. Bu test yöntemi AASHTO’nun 1959 ve ASTM’nin 1969 standartlarında yer almaktadır.

Welborn (1979), bu deney yönteminin bağlayıcının plentte karışım sırasındaki davranışını temsil ettiğini belirtmektedir. Birçok araştırmacı TFOT’de küçük değişiklikler yapmışlardır. Edler ve diğ. (1985), film kalınlığını 100 mikrona ve deney süresini 24 saate çıkarmışlardır.

1.6.1.1.2 Shell Mikrofilm Testi. Griffin ve diğ. (1955), cam kaplar kullanarak 5 mikron kalınlığındaki bağlayıcıyı 2 saat süre ile yaşlandırmışlar ve bağlayıcının yaşlanma indeksini saptamışlardır.

Hveem ve diğ. (1963), Shell Mikrofilm deneyini bağlayıcı film kalınlığını 20 mikrona, süreyi 24 saate çıkartarak geliştirmişler, yol üzerinde meydana gelen yaşlanma ile laboratuarda yaşlandırılan numuneler arasında ilişki kurmuşlardır.

1.6.1.1.3 Döner İnce Film Etüvü Deneyi (RTFOT). Bu deney yöntemi, California Yollar Departmanı tarafından geliştirilmiştir. Deneyde ince film halinde ısıtma deney yönteminde kullanılan 1/8 inç (3 mm)'den ince bağlayıcı filmleri yaşlandırılmaktadır. Hveem ve diğ. (1963), bu yöntemi deneylerinde kullanmışlardır.

Deney, 35 gr. numunenin 163°C'lik döner bir fırın içinde 75 dakika süre ile bekletilmesini kapsamaktadır. Bu durum yaklaşık 1.25 mm (1250 mikron)'lık bağlayıcı filminin cam kap içinde akmasına neden olmaktadır. Döner ince film etüv deneyi, ASTM 'nin 1970 standardında yer almaktadır. Birçok araştırmacı, döner ince film etüv deneyinde küçük değişiklikler yapmışlardır. Edler ve diğ. (1985) deneylerinde yaşlandırma süresini 8 saate çıkarmışlardır.

1.6.1.1.4 Döner Mikrofilm Etüvü Deneyi (RMFO). Schmidt ve Santucci (1969), RTFOT'i geliştirmişler ve bağlayıcıyı benzende eriterek cam kap çeperinin bağlayıcı ile kaplanmasını sağlamışlardır. Daha sonra, benzeni buharlaştırmışlar ve 20 mikron kalınlığında bir bağlayıcı filmi elde etmişlerdir. Elde edilen bağlayıcı 99°C'lik döner fırında 24 saat bekletilmiştir. Bu deneyin dezavantajı, her bir cam şişeden çok az bir numune elde edilmesidir (0.5 gr).

1.6.1.1.5 Eğik Etüv Sağlamlık Deneyi (TODT). Kemp ve Predoehl (1981), etüvü 1.06° arkaya doğru yatırarak eğik etüv deney yöntemini geliştirmişlerdir. Yatırma işlemi, döner şişelerden bağlayıcının çıkmasını önlemiştir. Deney, 113°C'de 168 saat sürmüş ve deney kalıntısı üzerine penetrasyon, viskozite ve düktilite deneyleri uygulanmıştır.

Hattie (1983), benzer bir deneyi 115°C’de ve 100 saat uygulamıştır.

Santucci ve diğ. (1981), her iki araştırmacının uyguladıkları deneyleri değerlendirmiş ve Kemp ve Predoehl tarafından geliştirilen deneyin daha gerçekçi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

1.6.1.1.6 Hızlandırılmış İnce Film Halinde Yaşlanma Deneyi (TFAAT).

Petersen (1989), RMFO’yu geliştirerek, 4 gr. bağlayıcı numunesi elde etmiştir. Deney 113°C de ve 72 saat sürmüştür.

Petersen, ince film halinde ısıtma deneyi ve döner ince film halinde ısıtma deneyleri sırasında kullanılan birçok bağlayıcının servis ömrü boyunca yollarda kullanılan bağlayıcılara oranla daha çok uçucu madde kaybına uğradıklarını saptamıştır.

Ayrıca, adı geçen deneylerde, oksidasyona bağlı yaşlanma düzeyinin yol üzerinde meydana gelen yaşlanmaya oranla daha düşük olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle TFAAT, buharlaşma ve oksidasyona bağlı yaşlanmayı en iyi şekilde temsil etmesi bakımından geliştirilmiştir.

Petersen (1989), TFAAT ve TFOT’ ten elde edilen bağlayıcıların yaşlanma indekslerini Tablo 1.4’te karşılaştırmıştır.

Tablo 1.4 BOSCAN AC-10 bağlayıcının değişik yöntemler kullanılarak yaşlanma düzeyleri (Petersen, 1989)

Yaşlandırma Yöntemi	Yaşlanma İndeksi	Log Yaşlanma İndeksi
Orijinal (yaşlanmamış)	1.0	0
TFOT	3.0	0.48
TFAAT	214.0	2.33

Yukarıdaki tablo, hızlandırılmış ince film halinde yaşlanma deneyinin, ince film halinde ısıtma deneyine oranla daha ağır koşullara sahip olduğunu göstermektedir.

Petersen (1989), çalışmalarından elde ettiği verilere dayanarak, TFAAT'nın yolda meydana gelen yaşlanma ile aynı düzeyde yaşlanmaya neden olduğu sonucuna varmıştır.

1.6.1.2 Oksidasyon Yöntemleri

1.6.1.2.1 Hava Üfleme Yöntemi. Nicholson (1937), bağlayıcıları 15 dakika süre ile 229°C'de ve 0.0091 m³/dakika hızda hava üfleme yöntemi ile yaşlandırmıştır. Deney sonucundan elde edilen bitümlü bağlayıcıların penetrasyon ve viskozite değerleri, orijinal bağlayıcının penetrasyon ve viskozite değerlerine göre karşılaştırılmıştır.

1.6.1.2.2 Basıncılı Oksidasyon. Lee (1968), yaşlanma olayının iki aşamada incelenmesi gerektiğini belirtmiştir:

- Karıştırma sırasında yaşlanma,
- Servis ömrü boyunca yaşlanma.

Lee (1968), birinci aşama için, ince film halinde ısıtma deneyini; ikinci aşama için basıncılı oksidasyon deneyini uygulamıştır.

İngiltere Yol Araştırma Laboratuvarı (The British Road Research Laboratory-TRRL) yol katranları ile birlikte kullanılmak üzere bir deney aleti geliştirmişler ve deneysel çalışmalarına, yaşlanmanın etkilerini değerlendirmek için kırılma noktası deneyini eklemişlerdir (HMSO, 1962).

Iowa Sağlık Deneyi 1973 yılında aynı araştırmacı tarafından geliştirilen bir yöntemdir (Lee, 1973). Lee, deneyin aşamalarını aşağıdaki şekilde sıralamıştır:

- Orijinal bağlayıcı üzerine ince film halinde ısıtma deneyi,
- Kalıntı üzerine basınçlı oksidasyon deneyi (65°C’de, 300 psi basınç altında ve yaklaşık 1000 saat),

Bağlayıcının kimyasal ve fiziksel özelliklerinin orijinal bağlayıcıya göre değerlendirilmesi.

Lee (1973) bu deney için 450 psi basınca dayanıklı, 190 mm (7.5 inç) çap ve yüksekliğinde bir oksidasyon kabı kullanmıştır.

Lee, laboratuvar ve yol üzerinde yaptığı çalışmalarda, Iowa Sağlamlık Deneyi ile 46 saat yaşlandırma miktarının; yolun 60 aylık yaşlanma miktarına benzer olduğu sonucunu elde etmiştir.

Edler ve diğ. (1985), yaşlanmayı iki aşamada incelemişlerdir. RTFOT ile 8 saat süre ile yaşlandırılan bağlayıcıyı üzerine 96 saat süre ile 65°C’de, 300 psi basınç altında basınçlı oksidasyon deneyi uygulamışlardır. Bağlayıcının bu işlemler sırasındaki yaşlanma düzeyini kayan plaka viskometre aleti kullanarak saptamışlardır. Ayrıca jel nüfuz kromatografisi (gel permeation chromatography) ile orijinal ve yaşlanmış bağlayıcıların moleküler yapı değişimlerini incelemişlerdir.

1.6.1.3 Morötesi ve Kızıl Ötesi Işık Yöntemleri

Traxler (1963), aktinik ışıkların bağlayıcı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Aktinik ışıklar, çeşitli maddeler ile kimyasal reaksiyonlar meydana getirmektedir. Çalışmalarından elde ettiği veriler, ince film halinde (3μ) olan bağlayıcılar üzerinde, morötesi ve kızılötesi ışıkların önemli etkileri olduğunu; daha kalın filmlerde ise bu etkilerin azaldığını göstermiştir.

Edler ve diğ. (1985) 0.004 inç (100μ) kalınlığında bağlayıcı filmini yaşlandırmak için iklimlendirme aleti kullanmışlardır. Deney, 65°C’de 102 dakika, ardından 18

dakika morötesi ve 300 psi su basıncı uygulamalarını içermektedir. Numuneler, toplam 32.5 saat, 73.5 saat, 7 gün ve 14 gün süre ile yaşlandırılmışlardır.

1.7 Bitümlü Sıcak Karışımları Yaşlandırma Yöntemleri

Karışımlar üzerinden bağlayıcının geri kazanılması işleminin geliştirilmesinden sonra araştırmacılar, yaşlanmanın karışımlar üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak için bağlayıcının geri kazanılması yöntemi kullanmışlardır. Karışımlar üzerinde araştırmacıların yaptığı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

1.7.1 Geliştirilmiş Sıcaklık Yöntemleri

Pauls ve Welborn (1952), 2 inç (50.4 mm) boyutundaki silindirik Ottawa kum karışımlarını 163°C’de farklı sürelerde etüvde yaşlandırmışlar ve karışımların basınç dayanımlarını ölçmüşlerdir. Ayrıca karışımlardan geri kazanılan bağlayıcıların kıvamlarını saptamışlardır. Yapılan çalışmaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Bitümlü bağlayıcıların yaşlanma özellikleri, laboratuarda yaşlandırılan numuneler üzerine basınç dayanımı deneyi ve geri kazanılan bağlayıcı üzerine yapılan TFOT ile saptanabilmektedir.
- TFOT basit bir deney olduğu için, yüksek sıcaklıklarda bağlayıcının yaşlanma özellikleri bu deney ile gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Plancher ve diğ. (1976), 25*40 mm boyutlarında karışımları etüvde yaşlandırarak, kirecin, bağlayıcının oksidasyona bağlı yaşlanma özelliklerini üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Uygulanan deneyler, kireç katkılı karışımların esneklik modülü değerlerinin, katkısız karışımlara kıyasla daha az değiştiğini göstermiştir.

Hugo ve Kennedy (1985), karışımları 100°C’lik etüvde yaşlandırmışlardır. Bu işlem, 4 ve 7 gün, kuru ve %80 nem oranına sahip atmosferde gerçekleştirilmiştir.

Uygulanan işlemlerden sonra numunelerden 4 inç (100 mm)'lik karotlar alınmıştır. Karotlardan geri kazanılan bağlayıcı üzerine kıvam deneyleri uygulanmıştır.

Von Quintas ve diğ. (1988), kısa dönem yaşlanmayı temsil etmek için hava sirkülasyonlu etüvler (forced draft oven) kullanmışlardır. Sıkıştırılmamış karışımlar 8, 16, 24 ve 36 saat 135°C'de yaşlandırıldıktan sonra karışımlardan geri kazanılan bağlayıcı üzerine viskozite ve penetrasyon deneyleri uygulanmış, elde edilen sonuçlar orijinal bağlayıcının viskozite ve penetrasyon değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Von Quintas ve diğ. (1988), ayrıca karışımların uzun dönem yaşlanma özelliklerine ilişkin araştırmalar yapmışlardır. Hava sirkülasyonlu etüv kullanılarak uygulanmış deney yöntemi aşağıda özetlenmiştir.

1. 1-Sıkıştırılmış 6 adet deney numunesi 60°C'lik etüvde iki gün bekletildikten sonra numunelerden iki adeti dışarı çıkartılmıştır.
2. 2-Etüv sıcaklığı 107°C'ye yükseltilerek geri kalan üç numune beş gün süre ile yaşlandırılmıştır.

Ayrıca sıkıştırılmış üç numune üzerine, 60°C'de, 100 psi basınç altında, beş ile on gün arasında basınçlı oksidasyon işlemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, etüvde yaşlandırılmış numuneler üzerine uygulanan indirekt çekme gerilme değerlerinin; basınçlı oksidasyon uygulanan numunelere kıyasla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu durum etüv kullanılarak yaşlandırma deneyinin daha ağır koşullara sahip olduğunu göstermektedir.

Von Quintas ve diğ. (1988), çalışmalarının sonucunda basınçlı oksidasyona göre etüv kullanılarak yaşlandırma yöntemini önermiştir. Ayrıca, etüvde yaşlandırma yöntemi üzerinde daha fazla çalışılması gerektiğini ve en iyi yöntemin seçilmesi için sıcaklık değerlerinin çok iyi biçimde değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Son zamanlarda SHRP bünyesinde Chris A. Bell ve arkadaşları tarafından yaşlanmaya ilişkin laboratuvar ve arazi çalışmaları yapılmış, uygulanan deney yöntemleri değerlendirilmiştir.

Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir (Bell ve diğ., 1994a; 1994b; 1994c).

- Karışımın hazırlanması, serilmesi ve sıkıştırılması sırasında meydana gelen kısa dönem yaşlanma işlemi laboratuvarda, sıkıştırılmamış karışımın 135°C'lik hava sirkülasyonlu etüvde 4 saat süre ile bekletilmesi ile tam olarak temsil edilmektedir.
- Kısa dönem yaşlanma işleminde, karışımın her saat karıştırılması, homojen bir yaşlanma düzeyi elde etmek bakımından son derece önemlidir.
- Yolun servis ömrü boyunca oluşan uzun dönem yaşlanma işlemi, kısa dönem yaşlandırılmış karışımın sıkıştırıldıktan sonra 85°C'lik hava sirkülasyonlu etüvde 120 saat (5 gün) bekletilmesi ile temsil edilmektedir. Sıkıştırılmış karışımın 100°C'lik etüvde 2 gün bekletilmesi de aynı etkiyi sağlamakta ancak numunenin yüksek
- sıcaklıklarda deforme olabileceği dikkate alındığında, düşük sıcaklıkta çalışılması tercih edilmektedir.
- Oregon State Üniversitesi'nde karışımın etüvde uzun dönem yaşlandırılmasına ek olarak düşük basınçlı oksidasyon deneyi ile çeşitli sıcaklıklarda yaşlandırılma yöntemi geliştirilmiştir. Bu deney, sıkıştırılmış karışımlar üzerine 60°C ve 85°C'de basınç uygulamalarını içermektedir. Fakat deney yönteminin tam olarak yaşlanmayı temsil edip etmediği konusunda henüz ayrıntılı bir çalışma yapılmamıştır.

- The California and Georgia Asphalt Aggregate Mixture Analysis Study (AAMAS) raporlarına dayanılarak, laboratuarda hazırlanan numuneler üzerine uygulanan esneklik modülü deneyi sonuçları yoldan alınan veriler ile karşılaştırıldığında, birkaç bölge haricinde uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

1.7.2 Oksidasyon Yöntemleri

Kim ve diğ. (1986), Oregon karışımlarını laboratuarda basınçlı oksidasyon ile yaşlandırmışlardır. Deneyde, numuneler 60°C’de 100 psi basınç altında 1, 2, 3 ve 5 gün boyunca yaşlandırılmıştır. Yaşlanmanın etkileri esneklik modülü (resilient modülü) ve yorulma dayanımı testleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca numunelerin modül oranları da (modül oranı; yaşlandırılmış numunelerin esneklik modül değerinin, yaşlandırılmamış numunelerin esneklik modül değerine oranıdır) yaşlanma süresine bağlı olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, yaşlanma süresinin artışı ile modül oranının arttığını göstermiştir.

1.7.3 Morötesi ve Kızılötesi Işık Yöntemleri

Hveem ve diğ. (1963), Ottawa kumu kullanarak karışımlar hazırlamışlardır. Karışımlar yarı sıkıştırılmış halde test edilmiştir. Numuneler üzerine 60°C’de ısı ve 41°C’de hava akımı yaratacak kızılötesi ışık işlemi uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar yaklaşık 1000 saat süren bu işlemin yolun 5 yıllık yaşlanmasına eşit olduğunu göstermiştir.

Hugo ve Kennedy (1985), karışımlara 54 saat ve 14 gün olmak üzere iki ayrı süre içinde morötesi ışık uygulamışlardır. Yapılan işlemlerden sonra, karışımlardan geri kazanılan bağlayıcı üzerine viskozite deneyleri uygulanmıştır.

Tia ve diğ. (1988), morötesi ışık ile ve etüvde yaşlandırma yöntemlerini sıkıştırılmış numuneler üzerinde karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar her iki deney yönteminde de yaşlanma düzeyinin aynı olduğunu göstermiştir. Ayrıca

morötesi ışık yöntemleri ile birlikte hava sirkülasyonlu etüv kullanılmasının yaşlanmayı daha iyi temsil ettiğini belirtmişlerdir.

Tablo 1.5'te bağlayıcı ve bitümlü sıcak karışımlar üzerinde günümüze kadar yapılan çalışmalar özet halinde verilmiştir.

Tablo 1.5 Laboratuarda yaşlandırma ve değerlendirme yöntemleri (Bell, 989)

Yıl	Araştırmacı	Yaşlandırma Yöntemi	Değerlendirme Yöntemi
1903	Dow	163°C'de 18, 24 saat bağlayıcı 149°C'de 30 dk. karışım yaşlandırılır.	Kalıntı üzerinde ağırlık ve penetrasyon değişimi. Geri kazanılan bağlayıcı üzerine penetrasyon
1937	Nicholson	Hava üfleme, 229°C, 15 dk.	Penetrasyon, düktilite
	Raschig ve Doyle	Hava üfleme, 204°C, 15 dk.	Penetrasyonda değişme
	Hubbard ve Gollomb	Ottawa kum karışımı, sıcaklık ve zaman değişken	Geri kazanılan bağlayıcı üzerinde penetrasyon
1939	Lang ve Thomas	Ottawa kum karışımı, yaşlandırma etüvü	Karışım özelliklerinde değişme
1940	Shattuck	163°C'de 30 dk. karışımın yaşlandırılması	Geri kazanılan bağlayıcı üzerine penetrasyon ve düktilite değişimi
	Lewis ve Welborn	İnce film halinde ısıtma-163°C, 5 saat, 1/8 inç (3,18 mm) film kalınlığı	Penetrasyon, düktilite ve ağırlık değişimi
1946	Lewis ve Halstead	İnce film halinde ısıtma-163°C, 5 saat, 1/8 inç (3,18 mm) film kalınlığı	Penetrasyon, düktilite ve ağırlık değişimi
1952	Pauls ve Welborn	Ottawa kum karışımı, yaşlandırma etüvü	Basınç dayanımı, geri kazanılan bağlayıcı üzerine penetrasyon
1953	Griffin, Miles ve Penther	Shell mikrofilm test-5 mikron film kalınlığı, 2 saat, 107°C	Yaşlanma indeksi, orijinal ve yaşlanmış bağlayıcı viskoziteleri
1957	Vallegra, Monismith ve Grantham	Morötesi ve kızılötesi ışık	Penetrasyon, Düktilite ve Yumuşama Noktası
	Brown, Smith ve Sparks	Bağlayıcının ani sertleştirilmesi	Bağlayıcı üzerinde Çekme Testi
1958	Heithaus ve Johnson	Yol testleri-mikrofilm testi	Mikrofilm yaşlanma indeksi
1961	Traxler	İnce film halinde ısıtma (TFOT) ve mikrofilm deneyi (15 mikron film, 2 saat, 107°C	25°C'de mikroviskozite değeri ile karşılaştırma
	Halstead ve Zenewitz	İnce film halinde ısıtma (TFOT) ve mikrofilm deneyi (15 mikron film, 2 saat, 107°C	25°C'de mikroviskozite değeri ile karşılaştırma

Tablo 1.5 (devam)

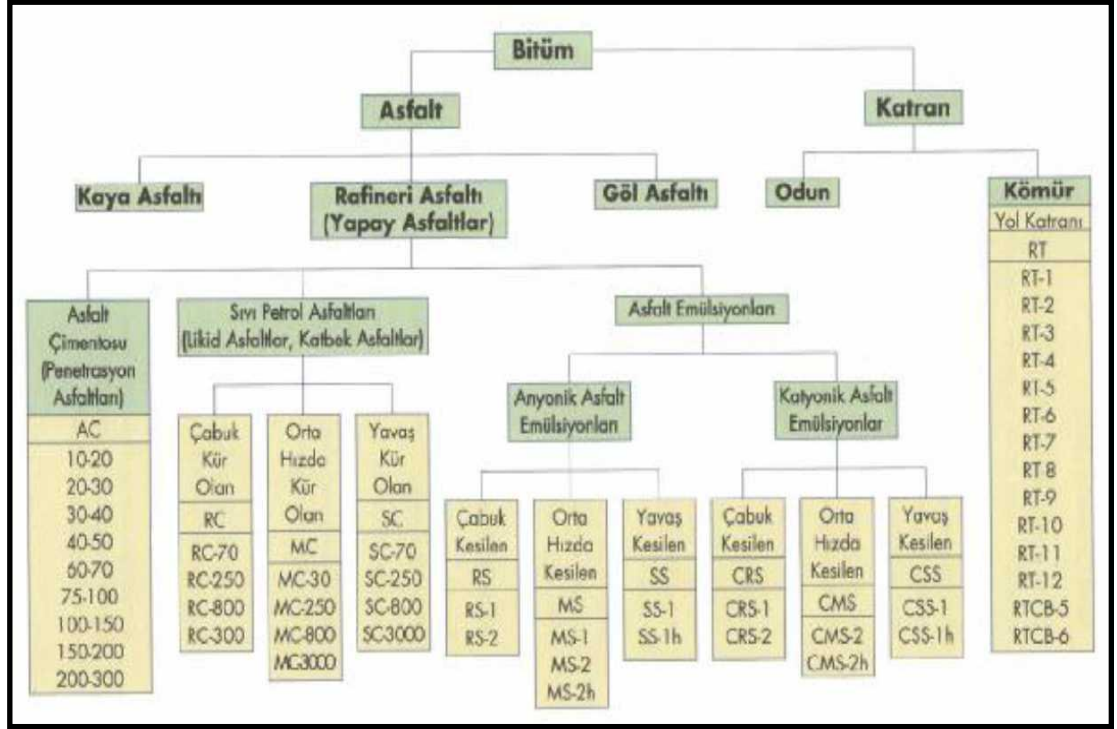
	Halstead ve Zenewitz	İnce film halinde ısıtma (TFOT) ve mikrofilm deneyi (15 mikron film, 2 saat, 107°C)	25°C'de mikroviskozite değeri ile karşılaştırma
1963	Hveem, Zube ve Skog	Modifiye Shell Mikrofilm Testi-20 mikron, 1 gün, 99°C, döner ince film etüvü, ince film halinde ısıtma-50 dakika, 163°C	25°C'de mikroviskozite, orijinal ve yaşlandırılmış bağlayıcı Her iki deneyden elde edilen bağlayıcı üzerine viskozite deneyi
1968	Lee	TFOT 163°C, ardından 24, 48, 96 ve 240 saat basınçlı oksidasyon	25°C'de viskozite, kayma indeksi, asfalten içeriği
1969	Schmidt ve Santucci	Döner mikrofilm testi (RMFO) 20 mikron, 99°C	Kalıntı üzerine viskozite
1973	Lee	TFOT, 150°C'de 20 atm. basınçlı oksidasyon	Mikroviskozite, kırılma noktası, duktilite, asfalten içeriği
1976	Benson	TFOT, aktinik ışık yolu üzerinde koşullandırma	Penetrasyon, viskozite
	Planceher, Green ve Petersen	Döner ince film halinde ısıtma (RTFOT), RMFO, karışımın 150°C'lik fırında 5 saat yaşlandırılması	Mikroviskozite, Asfalten içeriği, kimyasal analiz, esneklik modülü (resilient modulus)
1977	Kumar ve Goetz	Hava geçirgenliği 60°C 0,5 mm. su ile 1, 2, 4, 6, 10 gün	21±2°C'de sünme, tekrarlı yükleme sünme eğrisi eğiminin saptanması ile oksidasyona karşı duyarlılık Dayanıklılık İndeksi=X günde eğri eğimi/başlangıç eğimi
1981	Kemp ve Predoehl	Aktinik ışık ile koşullandırma, RMFO, modifiye shell mikrofilm Testi, yol üzerinde koşullandırma	Penetrasyon ve duktilite 25°C, esneklik modülü, viskozite, kapiler viskozite
	Santucci, Goodrich ve Sundberg	113°C 168 saat ve 115°C 100 saat eğik fırın dayanıklılık testi	60 ve 135°C'de viskozite; 4 ve 25°C'de penetrasyon; 25°C'de duktilite
1983	Mc Hattie	Geliştirilmiş RTFOT, 100 saat 115°C	Penetrasyon, kinematik viskozite, esneklik modülü
1985	Edler ve diğ.	100 mikron bağlayıcı filmi, RTFOT 8 saat, basınçlı oksidasyon 65°C, 300psi, 96 saat; modifiye TFOT, 100 mikron film ve 24 saat	Kayan Plaka Viskometresi (1/0,05 sn), 45°C Oksidasyon Düzeyi-kınlitesi spektrum
	Hugo ve Kennedy	100°C yaşlandırma etüvü karışımların 54 saat ve 14 gün boyunca mor ötesi ışık ile koşullandırılması	Mikroviskozite, 25°C
1986	Kim ve diğ.	60°C, 100 psi 0 ve 5 gün basınçlı oksidasyon Yoldan geri kazanılmış bağlayıcı	Viskozite, penetrasyon, esneklik ve yolulma deneyleri

Tablo 1.5 (devam)

1988	Von Quintus ve diğ.	Kısa dönem yaşlandırma 135°C, 8, 16, 24 ve 36 saat Uzun dönem yaşlandırma 60°C ve 100 psi-basınçlı oksidasyon Etüvde yaşlandırma 60°C ve 2 gün, sonra 107°C 5 gün	Esneklik Modülü İndirekt Çekme Sünme
	Tia ve diğ.	Dalga sirkulasyonlu fırın (convection oven aging) Hava sirkulasyonlu fırın (forced draft oven) Mor ışık yaşlandırılması (1, 7, 28, 90 gün ve 60°C de) doğal yaşlanma 1, 2, 3 yıl	Esneklik Modülü, İndirekt Çekme, Geri kazanılmış bağlayıcı üzerine penetrasyon, viskozite, kızılötesi ışık spektrum analizi
1989	Petersen	Hızlandırılmış ince film yaşlanma deneyi	Buharlaşmaya bağlı ağırlık kaybı, viskozite, keton içeriği

1.8 Bitüm

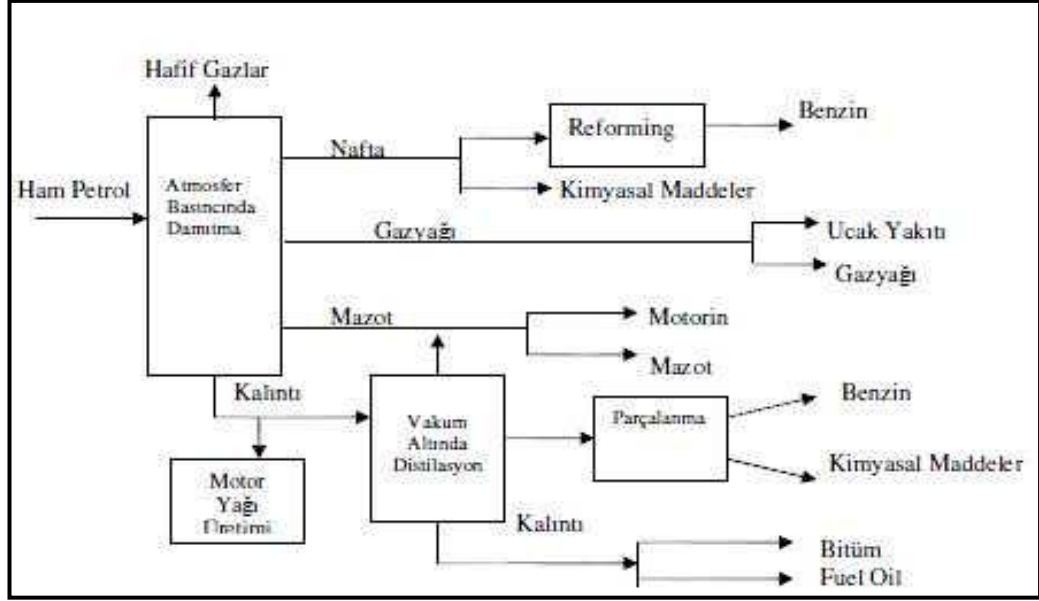
Bitüm, doğal ya da pirojenik kökenli (doğal, ısı etkisiyle oluşan) hidrokarbonların bir karışımı ya da bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çoğunlukla gaz, fakat bunun yanında sıvı, yarı katı veya katı halde olabilen, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbondisülfürde tamamen çözünen madde olarak tanımlanır. Bitüm kısaca, bitümlü kaplamaların yapımında kullanılmak üzere, kıvamlılık ve kalitesi bakımından özel olarak hazırlanmış, yumuşatılmış veya yumuşatılmamış bir bağlayıcı olarak tanımlanabilir. Bir örnek olarak, yol üstyapısında kullanılan bitümlü bağlayıcıların sınıflandırılması Şekil 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.6 Yol üstyapısında kullanılan bitümlü bağlayıcıların sınıflandırılması (KYGM Ankara,2004)

Bitümlü bağlayıcılar esas olarak asfaltlar ve katranlar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Asfaltlar ise doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Doğal asfaltlar, mineral maddeler ile karışmış halde bulunan kaya ve göl asfaltlarıdır. Yapay asfaltlar ise ham petrolün damıtılmasından elde edilir. Bir bitüm olarak algılanan katran, başlıca kömürün veya odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasıyla elde edilir.

Bitüm, genel olarak doğal kaynaklıdır. En zengin bitüm kaynağı ise ham petroldür. Şekil 1.7’de ham petrolden bitüm üretiminin basit bir şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.7 Bitüm üretiminin şematik gösterimi (Whiteoak, D.-2004)

1.8.1 Asfalt

En eski mühendislik malzemelerinden biri olan asfalt, doğal halde bulunan ya da ham petrolün damıtılması sırasında elde edilen, rengi koyu kahverengiden siyaha kadar değişebilen, katı, yarı katı ve sıvı halde olabilen kuvvetli bağlayıcı özelliğe sahip hidrokarbonlardan oluşan bağlayıcı bir maddedir. Doğal asfaltlar jeolojik kuvvetlerin tesiriyle petrolden oluşurlar ve doğada genellikle mineral agrega ile karışık halde bulunurlar. Bu anılan malzemeyi kullanılabilir hale getirmek için bir takım işlemlerden geçirmek gerekir. Doğal asfaltlar, kaya asfaltı ve göl asfaltı gibi sınıflara ayrılırlar. (ASTM, 1994)

Kaya asfaltı oldukça gözenekli kalkerin, daha seyrek olarak da kum taşının doğal olarak asfaltı emmesinden oluşur. Mineral madde oranı genellikle malzemenin % 90'ını oluşturur, geri kalanı ise bitümdür. Türkiye’de bulunan kaya asfaltları daha çok kum taşı, kalker, kil gibi mineral maddeler ile % 2-12 civarında asfaltın karışımından oluşmaktadır. (Selçuk Üniv, 2006 ; İsfalt, 2002)

Göl asfaltı, doğal asfaltın en geniş çapta kullanılan ve en çok bilinen şeklidir. Mineral malzemenin çok ince daneler halinde bitüm ortamı içinde yayılmış

durumdaki asfalt tipidir. Yüzey birikintileri halinde bulunur ve bunların en önemlisi Trinidad göl asfaltıdır. Göldeki malzeme yarı katı bir bitüm ile ince mineral agreganın çok iyi bir karışımıdır. Buradan elde edilen asfalt tipik olarak aşağıdaki bileşime sahiptir ve çok sert olduğu için uygun bir yumuşatıcı karıştırılarak yol yapımında ve çatı kaplamalarında kullanılabilir. (Selçuk Üniv, 2006 ; İsfalt, 2002)

- Bağlayıcı madde % 54
- Mineral madde % 36
- Organik madde % 10

Yapay asfaltlar, ham petrolün damıtılmasıyla elde edilirler. Bu asfaltlara rafineri asfaltları da denir. Petrol kuyularından çıkarılan ham petrol rafineriye gelir. Buradan pompalarla tanklara boşaltılır. Oradan ısıtma kulelerine sevk edilerek sıcaklığı yükseltilen ham petrol daha sonra damıtma kulelerine gelir. Kolay uçucu olan kısımlar bu kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaşarak ayrılır. Bunlar hafif damıtıkları teşkil ederler. Daha az uçucu olanlar ise orta damıtıkları, en ağır uçanlar ise ağır damıtıkları oluştururlar. Başlıca asfalt içeren kalıntı maddeleri ise kulenin dibinde birikir. Böylece ham petrolden beş farklı ürün elde edilmiş olur. (Tüpraş, 1985)

- Benzin (gazolin)
- Gazyağı (kerosen)
- Dizel yağlar (mazot)
- Yağlama yağları
- Ağır kalıntı maddeleri

Elde edilen bu ürünlerin hepsine gerektiğinde tekrar damıtma işlemi uygulanarak daha değişik petrol ürünleri elde edilebilir.

Kalıntı maddelerinin daha ileri damıtılmasından SC sınıfı yavaş kürleneyen yol yağları elde edilir ve geriye asfalt çimentosu kalır. Koşulların değiştirilmesiyle istenilen penetrasyonda asfalt çimentosu elde edilir.

Yol üstyapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfalttır.

Asfalt çimentosunun, kullanılmadan önce akıcı hale getirilebilmesi için mutlaka ısıtılması gerekir. Soğuyunca tekrar sertleşerek bağlayıcılık işlevini yerine getirir. Asfalt çimentoları, kıvamlılığı gösteren ve 10–300 arasında değişen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılırlar. Penetrasyon derecesi yükseldikçe asfalt çimentosu yumuşar dolayısıyla bağlayıcılık gücü azalır. TS 1081 EN 12591 standardında belirtilen asfalt çimentoları içerisinde en çok tercih edilenler B 50/70, B70/100, B 100/150 ve B 160/220 bitümleridir. Bunların yanı sıra AC 10-20 en sert, AC 200-300 en yumuşak asfalt çimentosunu ifade eder.

1.9 Tekne Atık Malzemesi Olarak Cam Takviyeli Polyester

Sıcak karışımı modifiye etmek için, cam takviyeli polyester tozu kullanılmıştır. Bu malzeme, İzmir’de etkinlik gösteren Tacar Tekne atölyelerinde, tekne imalatı sırasındaki panel kesimlerinin atıklarından elde edilmiştir. Kesimi gerçekleştirilen panellerde güçlendirici olarak Cotech firmasının üretilen çoklu-yönlü, dikişli E-cam kumaşlar kullanılmıştır. Reçine ise tekne yapımında yaygın olarak kullanılan ve Dewilux firmasının üretilen olarak kullanımı çok yaygın olan ve Dewester firması tarafından sağlanan Dewester 196 ortoftalik polyesterdir. Panel üretimi, el yatırma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Atık malzemedeki cam içeriği %35, atığın özgül ağırlığı 670kg/m³ değerlerindedir.

BÖLÜM İKİ

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Deney ve Analizler

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler, yukarıda yaygın olarak kullanıldığı belirtilen asfalt çimentolarının reolojik özellikleri üzerinde muhtemel cam takviyeli polyester katkısının etkisini incelemek amacıyla taşımaktadır.

Bu bağlamda, ağırlıkça %1,3,5,10,20 ve 30 oranlarında cam takviyeli polyester ile modifiye edilmiş bitümler (B50/70-B70/100-B160/220-MC30) temelinde, çatı kaplamalarından beklenen ısı izolasyonu ve kolay işlenebilirlik niteliklerinin anlaşılabilmesi için aşağıda listesi sunulan deneyler uygulanmıştır:

- Penetrasyon (TS EN 1426 / TS 11758)
- Viskozite (ASTM 2196-99 / TS-132)
- Yumuşama noktası (TS EN 1427 / TS 11758)
- Kırılma noktası (TS EN 1109 / TS EN 13164, LMT 058)
- Akma (sıcaklık dayanım) noktası (TS EN 1110, TS 13047, TS EN 544 / TS EN 13164, LMT058)
- Yaşlanma (TS EN 60811 / TS 7202)

Analizler öncesi, katkı malzemesi olarak kullanılacak cam takviyeli polyester atığın tanecik boyutlarının belirlenebilmesi için, ASTM D451-91 uyarınca elek analizi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, eldeki atık malzeme, 0.71 mm, 0.5 mm ve 0.212 mm göz açıklığına sahip eleklerden elenmiştir. Agregalar üzerinde kaldığı eleklerle göre gruplara ayrılmıştır (Tablo2.1).

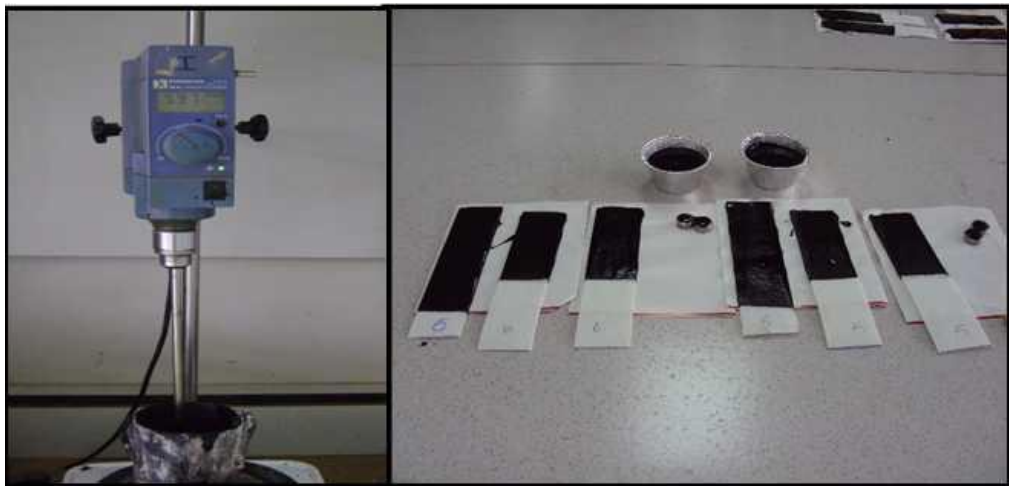
Tablo 2.1 Atık malzemenin tanecik boyutları dağılımı

Tanecik Boyutu	Kuru Ağırlık Oranları
> 0.5 mm	% 2.25
0.5 – 0.355 mm	% 78.9
< 0.355 mm	% 18.85



Şekil 2.1 Atık cam takviyeli polyester

Elek analizi ardından, hazırlanan CTP tozunda kuru ağırlık yüzdesi en büyük olan ve elek analizi sonunda kolayca elde edilen 0,5 - 0,355 mm tanecik büyüklüğündeki cam takviyeli polyester atık (Şekil 2.3) bitüm karıştırılmıştır. Bu işlemde hemen önce, bitüm 180 – 200 °C’deki karıştırma sıcaklığına dek ısıtılmıştır ve eşzamanlı olarak da 600 devir / dakika hızla 120 dakika karıştırılmıştır. Mikser ve hazırlanan örnekler Şekil 2.4’te gösterilmektedir. Her asfalt çeşidi, her yüzde karışım oranında numunelerden üçer adet hazırlanmıştır. Böylece 4 (bitüm çeşidi) x 6 (içerik) x 3 = 72 numune analize tabi tutulmuştur



Şekil 2.2 Mikser ve karışım numunelerinden örnekler

2.1.1 Penetrasyon Deneyi

Bu deney, bitümün sertlik veya kıvamını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Penetrasyonun değeri kıvamlılıkla ters orantılı olup, Bu değer yükseldikçe deneye tabi tutulan bitümlü bağlayıcı daha yumuşak bir kıvama sahip olur. Penetrasyon deneyi standart bir iğnenin belirli ısı ve yük koşullarında, zamana bağlı olarak numuneye düşey olarak battığı derinliğin ölçülmesinden ibarettir. Bitümlü malzeme, 25 °C'de 100 g yükle ve 5 saniye süreyle penetrasyona uğratılmaktadır. Bu koşullar altında yapılan deneyin sonucuna “normal penetrasyon” denmekte olup birimi uzunluk olarak santimetrenin yüzde biridir. Deney setinin göstergesindeki her bir birim 0.1 mm'ye karşılık gelmektedir. Deneylerde kullanılan düzeneği Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Penetrasyon deney düzeneği

Bitümlü bağlayıcının sertlik ve kıvamlılığını tayin etmek amacıyla yapılan penetrasyon deneyi için numunenin 25 °C'deki su banyosunda içinde hazırlanmıştır. Daha yüksek sıcaklıklarda ısıtılan numune, numune kabına alınarak 25 °C deki su banyosuna konulmuştur. Bir süre suda bekletilen numune, penetrasyon cihazına yerleştirilmiştir. 5 saniye içerisinde iğne serbest bırakılarak, zaman bitiminde penetrasyon değeri göstergeden okunmuştur. Kabın farklı noktalarından aynı işlem gerçekleştirilerek 5 okuma yapılmış ve ortalama penetrasyon değeri bulunmuştur. Bu okumaların tamamı son derece kısa sürede ardı ardına gerçekleştirilmiştir ve her okumada iğne temizlenmiştir.

2.1.2 Viskozite Deneyi

Bir bağlayıcının viskozitesi, onun akışkanlık özelliğinin bir ölçüsüdür. Bu özellik bağlayıcının kullanılacağı bitümlü kaplamanın performansına önemli derecede etki eder. Bu nedenle viskozite, bir bağlayıcının en önemli fiziksel özelliklerinden biri olarak kabul edilmelidir

Viskozite deneyi, uygulama sırasında bitümlerin ısıtıldıkları sıcaklık sınırlarında akma özelliğini tayin etmek amacıyla yapılır. “Saybolt - furol viskozitesi” asfalt emülsiyonları ve sıvı petrol asfaltları için kullanılmaktadır. Asfalt çimentolarının, pompalama ve doldurma veya boşaltma sırasındaki akma özelliğini tayin etmek için Brookfield Viskozimetre aleti kullanılır. Bu cihaz ile sıcak karışımların uygun karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları da tespit edilmektedir. (İTÜ-2003)

2.1.2.1 Dönel Viskozimetre (RV) Deneyi

Bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki akışkanlık karakteristiklerini, kendilerine uygulanacak elleçleme (pompalama, karıştırma, vb.) aşamalarındaki davranışlarını, işlenebilirliklerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla AASHTO TP48 standardına uygun olarak “Brookfield Viskozimetresi” kullanılmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.4 Brookfield viskozimetresi

Deneyde, 120 dakika boyunca 180°C de 600 dev/dk hızla karıştırılarak hazırlanan numuneler, 20 devir/dakika hızla dönen milin, sabit sıcaklıktaki bitüm numunesi içine daldırılarak, kendi etrafında dönüş hızını sabit tutacak burulma kuvvetinin ölçülmesi ile viskozite değeri belirlemiştir. Okunan değerler tekrarlanmaya başladıktan sonra üç adet okuma yapılmış ve bu üç değerın ortalaması alınarak viskozite değeri olarak kaydedilmiştir.

Bitümün atık malzeme ile karıştırılacak kıvamda olup olmadığını anlamak amacıyla yapılan bu deney ayrıca karışımın dizaynında kullanılacak karıştırma, yapıştırma (kaplama) ve sıkıştırma sıcaklığının da tahmininde yararlanılacak sıcaklık-viskozite eğrilerinin hazırlanmasında da kullanılabilir.

2.2.3 Yumuşama Noktası Deneyi

Bitümün sıcaklık değişimlerine karşı duyarlılıklarını ve hangi sıcaklıkta akmaya başladığını ölçmek için uygulanan deneydir. Yumuşama noktası genel olarak, bir su banyosu içine yerleştirilmiş ve üzerinde bir bilye bulunan standart bir kalıp içerisindeki bitümlü malzemenin, belirli bir hızla ısıtılması sonucunda yumuşamasıyla birlikte tabana değdiği anda termometreden okunan sıcaklıktır.

180°C’de homojen asfalt – atık malzeme karışımı, yağlı kâğıtlar üzerine yerleştirilen halkaların üst düzeyini aşacak şekilde doldurulmuştur. Bir saat süre ile 25°C’ye soğutulurken, taşan kısım falçata yardımı ile kesilip alınmıştır. Beher, 5 °C’ye kadar soğutulmuş gliserin ile doldurulmuştur. Numuneyi taşıyan halkanın alt yüzü banyonun tabanından 2.5 cm yukarıda ve bilye numunenin tam ortasında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Isıyı ölçmek için behere, ucu halkanın alt yüzü ile aynı düzeyde olacak şekilde termometre sarkıtılmıştır. Su sıcaklığı dakikada 5 °C artacak şekilde ısıtılmıştır. Sıcaklığın artması ile yumuşayan bitümün beherin tabanına değdiği anda termometreden okunan sıcaklık yumuşama noktası olarak kaydedilmiştir. Aynı deney ikinci ve üçüncü numuneler ile tekrar yapılarak sıcaklık değeri kaydedilmiştir. Böylece ortalama sıcaklık değeri hesaplanıp yumuşama noktası olarak kaydedilmiştir.



Şekil 2.5 Yumuşama Gelişimi

Bitümlü karışımların sıcak havalarda deformasyona uğraması bitümlü bağlayıcının yumuşama noktasına bağlıdır. 25 °C’ daki penetrasyonları aynı olan iki bağlayıcıdan yumuşama noktası yüksek olan sıcaklık değişimlerine daha dayanıklıdır. Dolayısıyla kaplamada kullanılan bitümlü bağlayıcının yumuşama noktası düşükse viskoz davranış ve kalıcı deformasyon erken başlaması beklenmelidir.

2.2.4 Kırılma (Düşük Sıcaklıklarda Esneklik) Noktası Deneyi

Fraas kırılma noktası deneyi, bitümlü bağlayıcıların düşük sıcaklıklardaki davranışlarını belirlemek amacıyla yapılan bir deneydir. Bu deneyde hazırlanan numuneler, hacmen 1/1 oranında (Şekil 2.8) etilen glikol / su karışımından oluşan soğuma havuzuna alınarak (-1)1°C’den başlayarak farklı sıcaklık değerlerinde, bükülmeyi sağlamak için örtü numunesi yukarı çekilen silindir ile sabit yatay silindirler arasına yerleştirilmektedir.(Yukarı çekilen silindirin çapı : 30 mm , yatay sabit silindirlerin çapı ise 20 mm dir). Bükme mandreli, deney parçalarını, yukarı doğru, 360±40 mm/dak hızla hareket edecek şekilde ayarlanmıştır



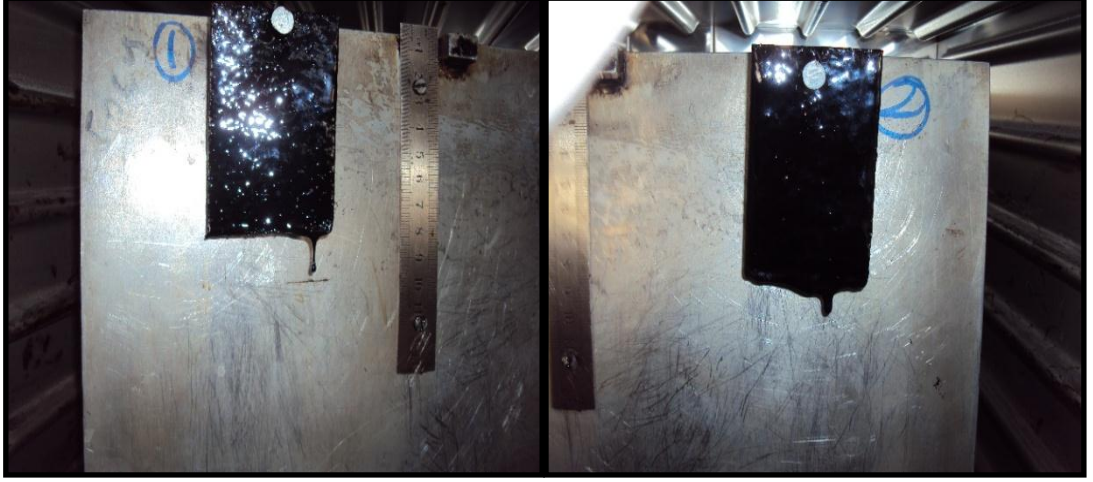
Şekil 2.6 Kırılma Deneyi Düzeneği ve Numuneler

Bükme işlemi tamamlandıktan sonra 10 saniye içerisinde, deney parçalarında çatlak olup olmadığı kontrol edilir. Taşıyıcıya kadar yayılan bir ya da daha fazla çatlama var ise, deney parçasında hasarlı kabul edilerek, göz ardı edilir.

Bitümlü kaplamaların soğukta bükülme sıcaklığı tayininde, ilk olarak deney parçalarının tahmin edilen soğuktaki bükülme sıcaklığından başlanarak 4°C aralıklarla soğukta bükülme sıcaklık aralığı belirlenir. Çatlamaya en yakın basamaktaki en yüksek sıcaklık esas alınarak numunelerin alt ve üst yüzeyleri için iki seri de 2°C aralıklarla test edilir. Deney sıcaklığının kademe kademe 2°C'lık değiştirilmesine, her bir serideki üç deney parçasının birbirini ardına yapılan deneylerinde en az 2 tanesinde çatlama olmayıncaya kadar devam edilir.

2.2.5 Akma (Sıcaklık Dayanımı) Sıcaklığı Deneyi

Bu deney, bitümlü ısı yalıtım örtülerinin belirli sıcaklıktaki akmaya karşı direncini bulmak için kullanılır. Hazırlanan numuneler, sapması (± 2 °C) olan hava dolaşımli etüv içerisinde aynı yükseklikte ve birbirinden en az 3 cm uzaklıkta dik olarak tutturulur (Şekil 2.9)



Şekil 2.7 Etüv Numune Yerleşimi

Numuneleri etüve koymak için geçen süre (etüv kapağının açılıp kapatılması) 30 saniyeyi geçmeyecek şekilde ayarlanıp, sıcaklığı $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ en az 30 dakika kondisyonlandıktan sonra belli periyotlarda sıcaklık değerleri yükselterek deney, yaklaşık 2 saat içinde akma noktasının tayini ile tamamlanır.

BÖLÜM ÜÇ

DENEY SONUÇLARI

3.1 Katkı Malzemesi Oranının Belirlenmesi

“Penetrasyon, Viskozite, Yumuşama, Kırılma ve Akma” deneyleri için, her beş deneyi bir set olarak; %1, %3, %5, CTP oranlı, 160/220; 70/100; 50/70 asfalt karışımı kullanılarak 15 adet deney seti ve 45 adet deney numunesi; %10, %20, %30 CTP oranlı, MC30 bitüm karışımı kullanılarak 3 adet deney seti ve 15 adet deney numunesi; %10, %20, %30 CTP oranlı, 160/220, 70/100 ve 50/70 bitüm karışımı kullanılarak 27 adet deney seti, 135 adet deney numunesi hazırlanmış böylece deneysel çalışmamızın tamamında 39 adet deney seti ve 195 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Tüm deneyler standartlara göre yapılmış olup veriler titizlikle kayıt altına alınmıştır. Ham bitüm numunelerinin nitelikleri için Tüpraş imalat standartlarından yararlanılmıştır.

Bu çalışmayı gerçekleştirmeden önce belirlemiş olduğumuz %1, %3, %5 CTP karışım miktarlarıyla oluşturulan numunelerle gerçekleştirilen deney sonuçlarının neredeyse ham bitüm değerleri ile birebir çıkması, atık malzeme katkı miktarının, deney sonuçlarına etki edebilmesi için arttırılmasına karar verilmiştir. Böylelikle katkı miktarları ağırlıkça %10, %20 ve %30’a yükseltilmiştir.

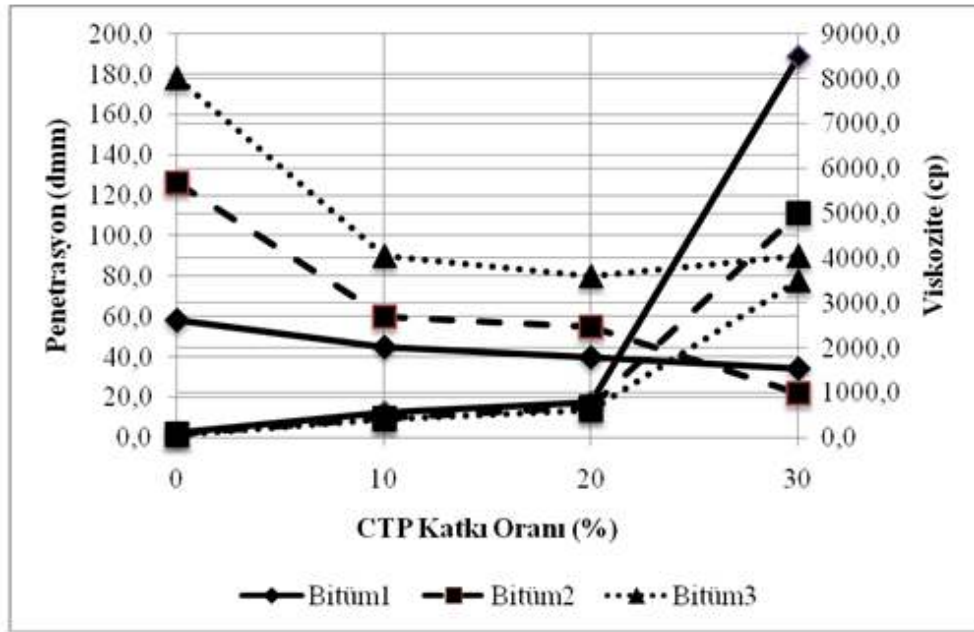
MC30 ile hazırlanan numunelerin, %10,%20 ve %30 CTP karışım oranlarında dahi, 25°C ortam sıcaklığında penetrasyon ölçümü sağlayabilecek kıvama kadar sertleşmemesi, izolasyon, kaplama vb bitüm ile tecrit işlerinde kullanılabilirliğini sağlayamamış ve bu bitüm çeşidi ile yapılacak deneyler iptal edilmiştir.

Böylece %10, %20, %30 CTP oaranlı; 160/220, 70/100 ve 50/70 bitüm karışımları kullanılarak deneysel çalışma tamamlanmıştır.

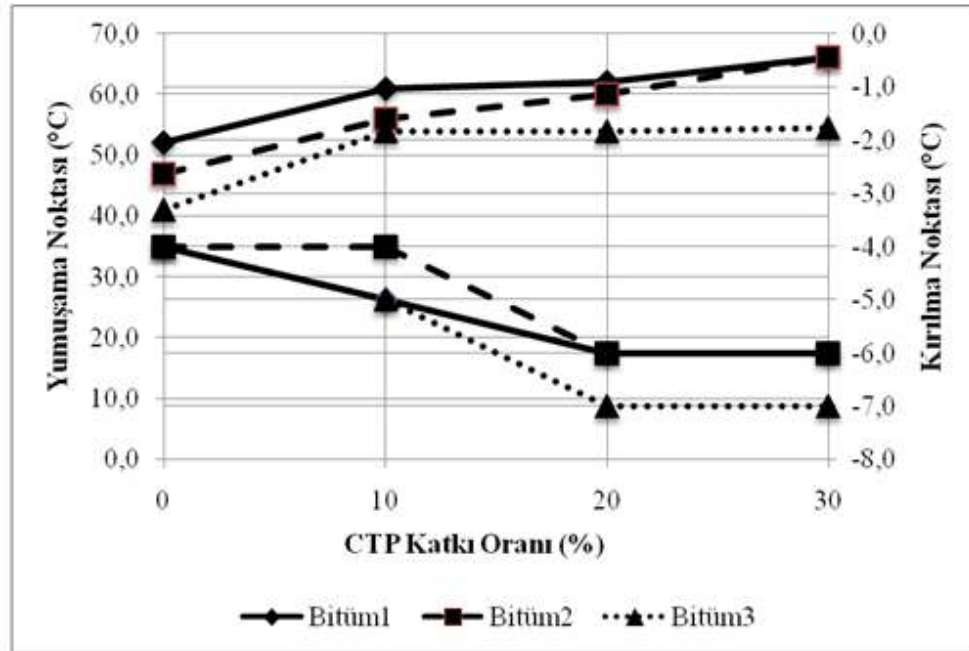
Elde edilen sonuçlar Tablo 3’de ve Şekil 3.1- 3.2 ve 3.3 de sunulmaktadır.

Tablo 3.1 Üç bitüm çeşidine göre deney sonuçları (her değer üç ölçümün aritmetik ortalamasını ifade etmektedir.)

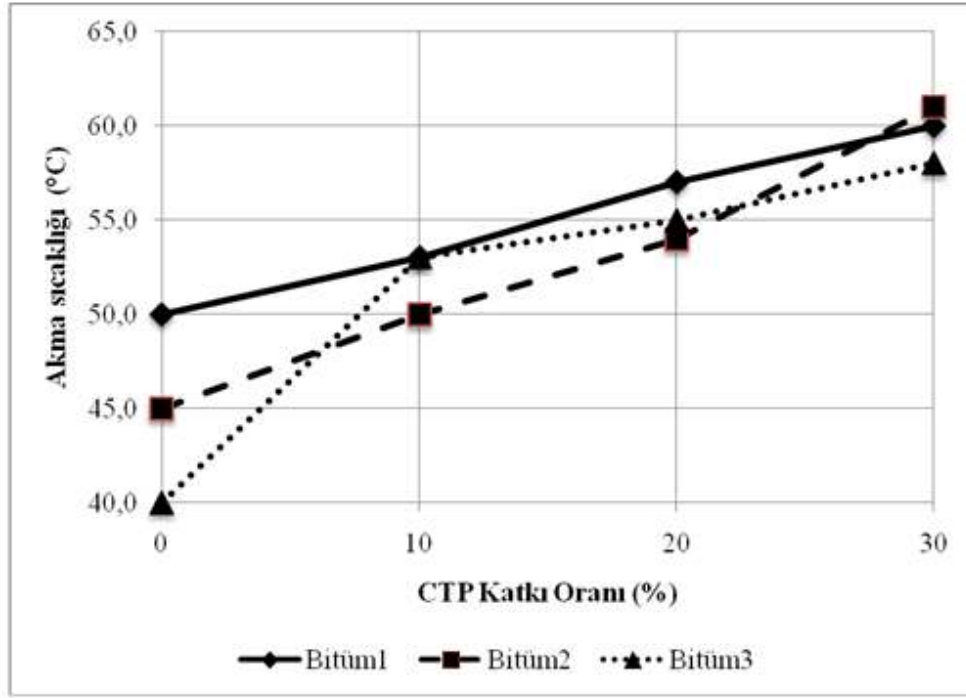
			% CTP MİKTARLARI			
			0%	10%	20%	30%
BİTÜM	DENEY ADI	STANDART	160/220 :400 CTP : 0	160/220 :360 CTP : 40	160/220 :320 CTP : 80	160/220 :280 CTP : 120
160/220 AC	YUMUŞAMA	TS EN 1427	40-42°C	54°C	54°C	54-55°C
	PENETRASYON	TS EN 1426	178 dmm	90 dmm	80 dmm	90 dmm
	VİSKOZİTE	ASTM 2196-99	65 cp	400 cp	600 cp	3500 cp
	KIRILMA NOKTASI	TS EN 1109	(-)4°C	(-)5°C	(-)7°C	(-)7°C
	AKMA SICAKLIĞI	TS EN 1110-544	40°C	53°C	55°C	58°C
			70/100 :400 CTP : 0	70/100 :360 CTP : 40	70/100 :320 CTP : 80	70/100 :280 CTP : 120
70/100 AC	YUMUŞAMA	TS EN 1427	46-48°C	56°C	60°C	65-67°C
	PENETRASYON	TS EN 1426	126 dmm	60 dmm	55 dmm	22 dmm
	VİSKOZİTE	ASTM 2196-99	90 cp	440 cp	690 cp	5000 cp
	KIRILMA NOKTASI	TS EN 1109	(-)4°C	(-)5°C	(-)6°C	(-)6°C
	AKMA SICAKLIĞI	TS EN 1110-544	45°C	50°C	54°C	61°C
			50/70 :400 CTP : 0	50/70 :360 CTP : 40	50/70 :320 CTP : 80	50/70 :280 CTP : 120
50/70 AC	YUMUŞAMA	TS EN 1427	52°C	61°C	62°C	66°C
	PENETRASYON	TS EN 1426	58 dmm	45 dmm	40 dmm	34 dmm
	VİSKOZİTE	ASTM 2196-99	100 cp	550 cp	790 cp	8500 cp
	KIRILMA NOKTASI	TS EN 1109	(-)4°C	(-)5°C	(-)6°C	(-)6°C
	AKMA SICAKLIĞI	TS EN 1110-544	50°C	53°C	57°C	65°C



Şekil 3.1 CTP katkı oranlarına göre penetrasyon ve viskozitenin değişimi



Şekil 3.2 CTP katkı oranlarına göre yumuşama ve kırılma noktaları değişimi



Şekil 3.3 CTP katkı oranlarına göre akma sıcaklığı değişimi

Deney sonuçları irdelendiğine, katkısız bitümlerin (160/220; 70/100; 50/70) performanslarının atık malzeme katkı oranıyla doğru orantılı yükseldiği, iyileşen niteliklerle kaplama malzemesi olarak kullanımla imkanlarının arttığı söylenebilir.

3.1.1 Bitümlü Bağlayıcıların Isıya Karşı Duyarlılığı (Penetrasyon İndeksi)

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları, karışım hazırlama sırasında enerji ve sürebakımından, uygulamada ise kaplamaların yüksek sıcaklıklarda kalıcı deformasyon ve düşüksıcaklıklarda ısıl çatlak oluşumu bakımından büyük önem arz etmektedir. Isı duyarlılığı düşükbağlayıcılar karışım hazırlama sırasında olumsuzluklara neden olmasına rağmen kaplamaperformansının artmasını sağlamaktadır. Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığını saptamakamacıyla yumuşama noktası ve standart penetrasyon deney sonuçları kullanılarak Penetrasyon İndeksi (PI) değeri belirlenmektedir. (Gazi Üniv.2008)

$$A = (\log 800 - \log P_{25}) / (TYN - 25) \text{ (M.İlcalı, S.Tayfur)}$$

$$PI = (20 - 500A) / (1 + 50A) \text{ (İMO, 2009)}$$

Formüldeki P₂₅, bitümün 25°C'deki penetrasyon değerini, TYN ise yumuşama noktasın göstermektedir. Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları arttıkça PI değerleri azalmaktadır.

Penetrasyon İndeksi'nin 2'den küçük olması bitümün ısıya çok duyarlı olduğunu, 2'den büyük olması ise ısıya az duyarlı olması demektir. Tablo ve grafikler yardımı ile değerlendirme penetrasyon indisi kullanılarak da farklı bir pencereden yapılabilir.

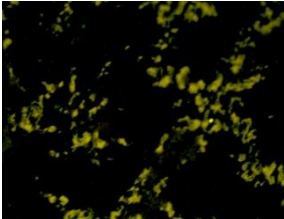
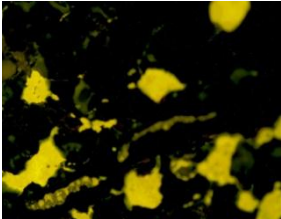
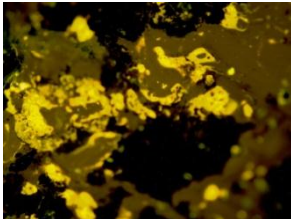
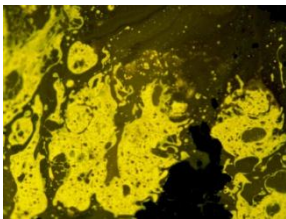
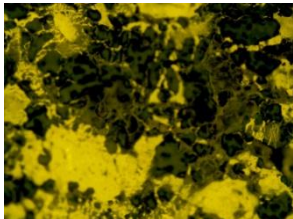
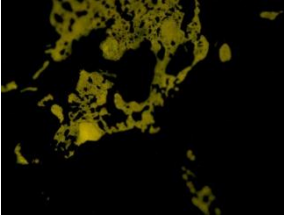
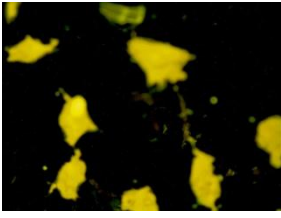
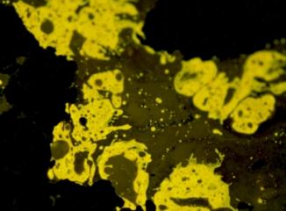
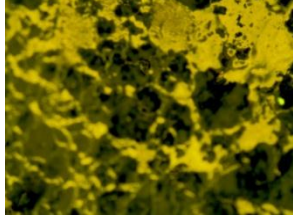
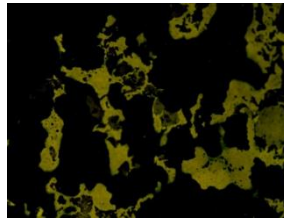
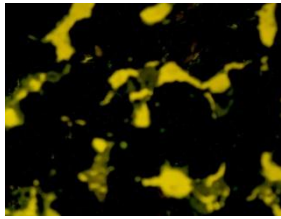
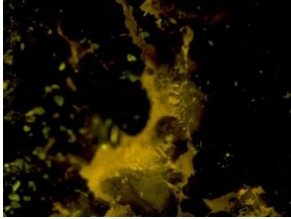
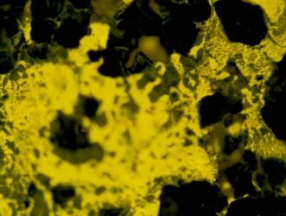
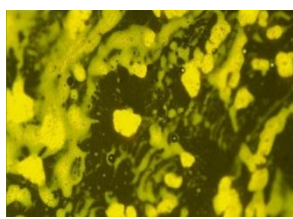
3.2 Yaşlandırma Deneyi Sonuçları

Ayrıca, en yüksek performansa ulaşılan %30 CTP katkı oranındaki bitümler için malzemelerin bir çatı kaplama malzemesi olarak kullanım koşullarındaki davranışlarını anlayabilmek için ise, hızlandırılmış ultraviyole ve nem yaşlandırması deneyleri uygulanmıştır.

Hazırlanan %30 katkılı asfalt karışım numunelerinin yaşlanması öncesi mikroskop görüntüleri faz dağılımı açısından gözlenmiş ve daha sonra ürünler etüvde 4 Hafta (672 saat) boyunca, 80oC'de (ısısal yaşlanma) ve UV yaşlandırma cihazında (UV ışınması yaşlanması) ile yağmurlama koşullarında iki farklı şekilde yaşlandırılmıştır.

Yaşlanma süresi olarak bu yaşlandırma deneyinde 10 günlük süre zarfındaki yaşlanma miktarı 6 ay gibi zamana karşılık geldiğine göre 4 haftalık (30 gün) bu yaşlandırma ardından yaklaşık 1.5 yıllık bir işletme ömrü değerlendirilmektedir.

Yaşlandırma sonrası 1:30000 ölçekli mikroskop görüntüleri tekrar gözlenmiş Şekil 3.4, yumuşama noktası, penetrasyon, viskozite, akma sıcaklığı ve kırılma noktası değerleri tekrar ölçülerek, yaşlandırma öncesi ile kıyaslama yapılmıştır.

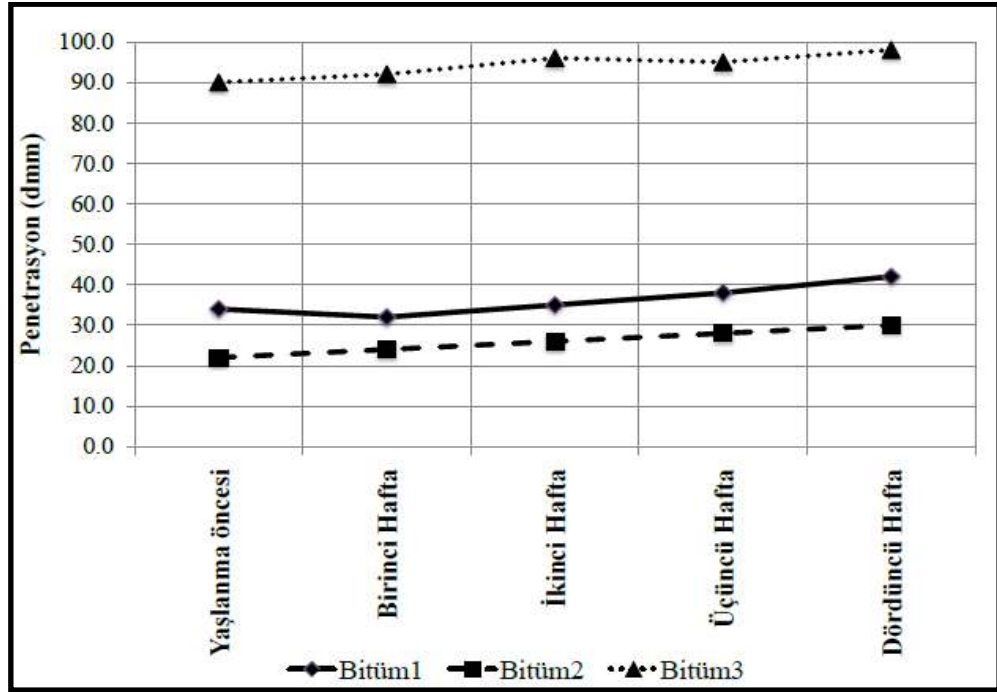
Bitüm	Yaşlandırma öncesi	1 haftalık yaşlandırma	2 haftalık yaşlandırma	3 haftalık yaşlandırma	4 haftalık yaşlandırma
1					
2					
3					

Şekil 3.4Yaşlandırma öncesi ve sonrası karışımdaki fazların değişimi (Mikroskop görüntüleri 1/30000 ölçekli olarak sunulmuştur)

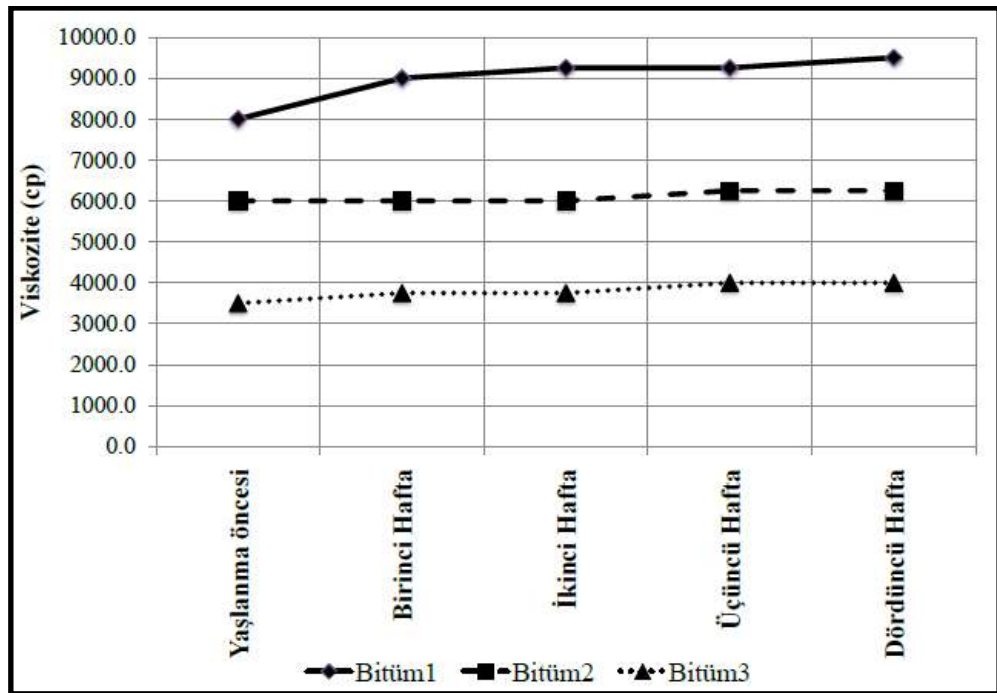
Karışımların yaşlanma sonrası özelliklerinin ya da performanslarının değerlendirilmesi amacıyla, deneyler tekrarlanmış ve Tablo 3.2 ile Şekil 3.5-9'da sunulmuştur. Yaşlanma indeksleri hesaplanırken 4.hafta değerleri kullanılmıştır.

Tablo 3.2 Yaşlandırma öncesi ve sonrası analiz sonuçları (her değer üç ölçümün aritmetik ortalamasını ifade etmektedir.)

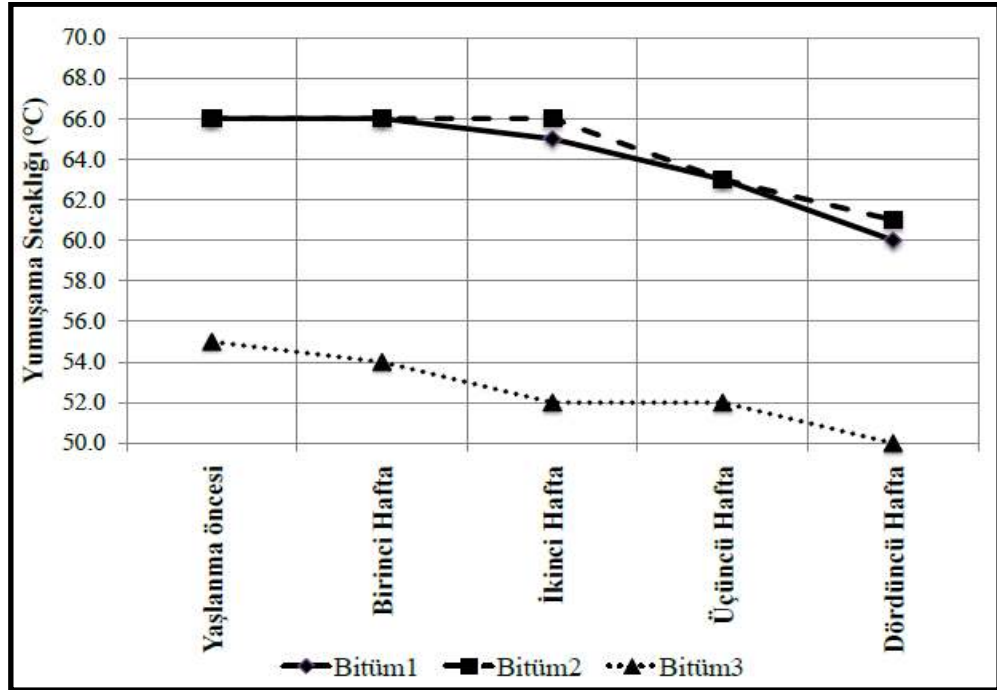
%30 CTP KATKILI NUMUNELERİN YAŞLANDIRMA ÖNCESİ VE SONRASI DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI							
BİTÜM	DENEY ADI	YAŞLANMA ÖNCESİ	1.HAFTA YAŞLANMA	2.HAFTA YAŞLANMA	3.HAFTA YAŞLANMA	4.HAFTA YAŞLANMA	YAŞLANMA İNDEKSİ
160/200 AC	YUMUŞAMA	55°C	54°C	52°C	52°C	50°C	0,91
	PENETRASYON	90 dmm	92 dmm	96 dmm	95 dmm	98 dmm	1,09
	VİSKOZİTE	3500 cp	3750 cp	3750 cp	4000 cp	4000 cp	1,14
	KIRILMA NOK.	(-7)°C	(-7)°C	(-6)°C	(-6)°C	(-5)°C	0,71
	AKMA SICAKLIĞI	58°C	58°C	56°C	55°C	55°C	0,95
		YAŞLANMA ÖNCESİ	1.HAFTA YAŞLANMA	2.HAFTA YAŞLANMA	3.HAFTA YAŞLANMA	4.HAFTA YAŞLANMA	YAŞLANMA İNDEKSİ
70/100 AC	YUMUŞAMA	66°C	66°C	64°C	63°C	61°C	0,92
	PENETRASYON	22 dmm	24 dmm	26 dmm	28 dmm	30 dmm	1,36
	VİSKOZİTE	6000 cp	6000 cp	6000 cp	6250 cp	6250 cp	1,04
	KIRILMA NOK.	(-6)°C	(-6)°C	(-6)°C	(-5)°C	(-5)°C	0,83
	AKMA SICAKLIĞI	61°C	60°C	60°C	60°C	55°C	0,90
		YAŞLANMA ÖNCESİ	1.HAFTA YAŞLANMA	2.HAFTA YAŞLANMA	3.HAFTA YAŞLANMA	4.HAFTA YAŞLANMA	YAŞLANMA İNDEKSİ
50/70 AC	YUMUŞAMA	66°C	66°C	65°C	63°C	60°C	0,91
	PENETRASYON	34 dmm	32 dmm	35 dmm	38 dmm	42 dmm	1,24
	VİSKOZİTE	8500 cp	9000 cp	9250 cp	9250 cp	9500 cp	1,12
	KIRILMA NOK.	(-6)°C	(-6)°C	(-6)°C	(-5)°C	(-5)°C	0,83
	AKMA SICAKLIĞI	65°C	60°C	60°C	60°C	55°C	0,85



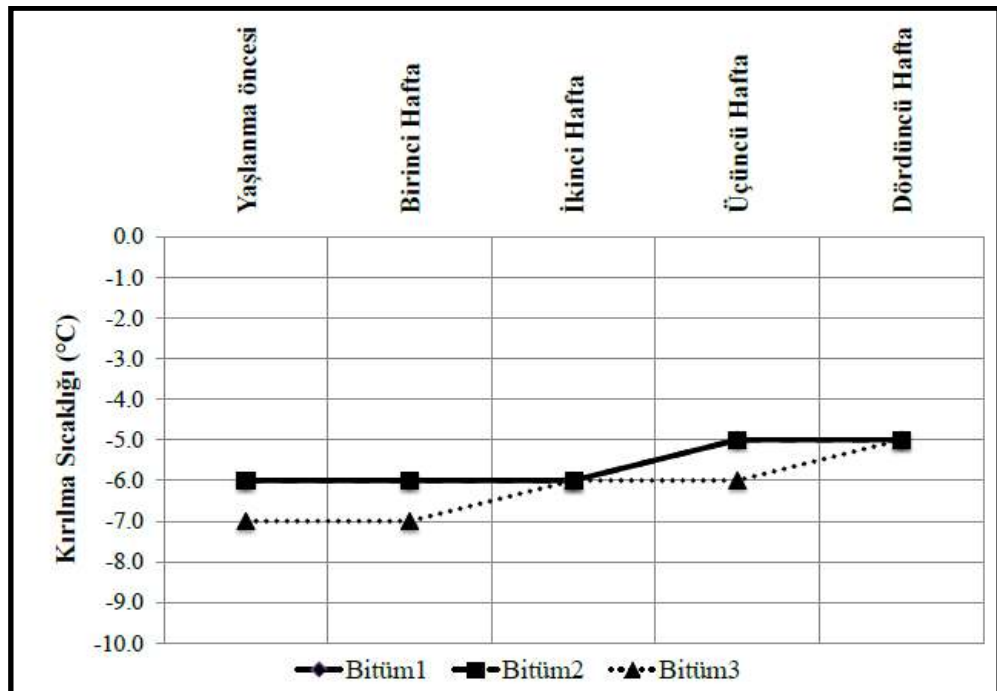
Şekil 3.5 Penetrasyon değerlerinin yaşlanmayla değişimi



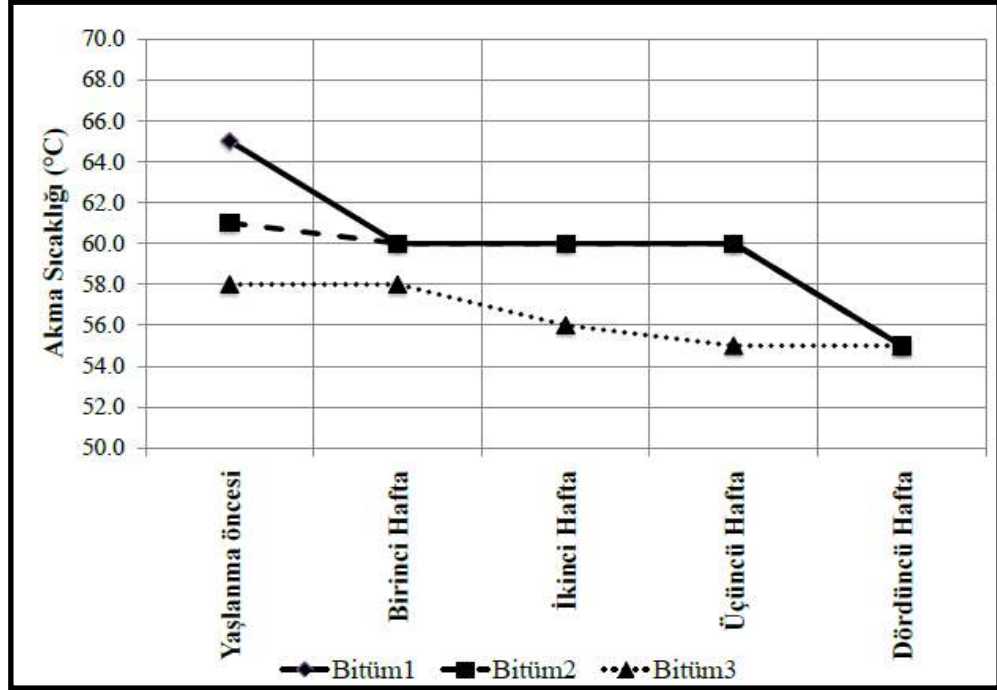
Şekil 3.6 Viskozite değerlerinin yaşlanmayla değişimi



Şekil 3.7 Yumuşama sıcaklığı değerlerinin yaşlanmayla değişimi



Şekil 3.8 Kırılma sıcaklığı değerlerinin yaşlanmayla değişim



Şekil 3.9 Kırılma sıcaklığı değerlerinin yaşlanmayla değişimi

BÖLÜM DÖRT

DEĞERLENDİRME

Elyaf takviyeli polyester tekne üretimi endüstrisi reçineler ve epoksi dahil birçok kimyasal kullanmakta ve çeşitli atıklar üretmektedir ki bu haliyle çevreyle ilgili birçok düzenleme ve kısıtlamalarla karşı karşıya bulunmaktadır. Bu haliyle elyaf tekne üretimi endüstrisi, eğer tekne yapılarının ve komponentlerinin yeniden kullanımı veya geri dönüşümü olanaklarını geliştirip uygulamaya geçemezse pazar payını metal malzemeyle tekne üretim endüstrisinin lehine kaybetmek tehlikesiyle karşı karşıyadır.

Bu deneysel çalışma, tekne üretimi kaynaklı cam takviyeli plastik atıkların bitümlü malzemeler içinde geri dönüşümü olanaklarını araştırmaya dönüktür. Bitümlü malzeme olarak ise, çatı kaplamaları değerlendirilmeye tabi tutulmuştur.

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler, yukarıda yaygın olarak kullanıldığı belirtilen asfalt çimentolarının reolojik özellikleri üzerinde muhtemel cam takviyeli polyester katkısının etkisini incelemek amacını taşımaktadır.

Bu bağlamda, ağırlıkça %1,3,5,10,20 ve 30 oranlarında cam takviyeli polyester ile modifiye edilmiş bitümler (B50/70-B70/100-B160/220-MC30) temelinde, çatı kaplamalarından beklenen ısı izolasyon ve kolay işlenebilirlik niteliklerinin anlaşılabilmesi için aşağıda listesi sunulan analizler gerçekleştirilmiştir:

- Penetrasyon (TS EN 1426 / TS 11758)
- Viskozite (ASTM 2196-99 / TS-132)
- Yumuşama noktası (TS EN 1427 / TS 11758)
- Kırılma noktası (TS EN 1109 / TS EN 13164, LMT 058)
- Akma (sıcaklık dayanım) noktası (TS EN 1110, TS 13047, TS EN 544 / TS EN 13164, LMT058)
- Yaşlanma (TS EN 60811 / TS 7202)

Bu deneyler özelinde sonuçlara bakıldığında;

- MC30 ile hazırlanan numuneler, %10,%20 ve %30 CTP karışım oranlarında dahi izolasyon, kaplama vb. bitüm ile tecrit işlerinde kullanılabilecek penetrasyon ve viskozite değerlerine ulaşamadığı için bu bitümün karışımlarının irdelenmesinden vazgeçilmiştir.
- Penetrasyon değerlerinde, katkı malzemesi miktarının artışına bağlı olarak %42 – 82 gibi önemli miktarlarda artış olduğu görülmektedir. Bu oranda bir iyileşme, elde edilen malzemenin hedeflenen amaç için kullanımında avantajlı olduğu yorumunu getirmektedir.
- Viskozite değerleri de katkı oranının artışıyla birlikte, beklendiği gibi artmaktadır. Bu artış, ısıtılarak kullanılacak ve dolayısıyla viskozitesi ısıtım yöntemleri ile tekrar azaltılacak malzemenin işlenebilirliği açısından bir olumsuzluk olarak değerlendirilemez.
- Yumuşama noktası sıcaklıklarında, her bitüm için katkıya bağlı olarak üç 12 -20°C arasında bir iyileşme gözlenmiştir.
- Bu durum akma sıcaklıkları için de geçerli olup, iyileşme 10-15°C aralığındadır.
- Kırılma noktası sıcaklıklarında ise, yumuşama ve akma sıcaklığı değerlerindeki kadar yüksek olmamakla birlikte 2-4°C arasında iyileşme görülmektedir.

Ayrıca, en yüksek performansa ulaşılan %30 CTP katkı oranındaki bitümler için malzemelerin bir çatı kaplama malzemesi olarak kullanım koşullarındaki davranışlarını anlayabilmek için ise, hızlandırılmış ultraviyole ve nem yaşlandırması deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanan %30 katkılı asfalt karışım numunelerinin yaşlanması öncesi mikroskop görüntüleri faz dağılımı açısından gözlenmiş ve daha sonra ürünler etüvde 4 Hafta (672 saat) boyunca, 80oC’de (ısısal yaşlanma) ve UV yaşlandırma cihazında (UV ışınması yaşlanması) ile yağmurlama koşullarında iki farklı şekilde yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma sonucunda ulaşılan değerler irdelendiğinde,

- Deney sonuçlarına göre yaşlandırma sonrası tekrarlanan; yumuşama noktası, penetrasyon, viskozite, kırılma sıcaklığı ve akma noktası değerleri, yumuşama öncesi deney sonuçlarına yakın değerlerdedir. Bu bağlamda yaşlandırma sonrasındaki malzeme niteliklerinin katkısız bitümden hala yüksek olduğu gerçeğiyle de karışımın kendinden beklenen işlevini gerçekleştireceği anlamına gelmektedir.
- Yaşlandırma sonrası görüntülerinin analizinden, bitüm içinde homojen bir dağılım gösteren cam takviyeli polyester katkısının yaşlandırma süresinin artışıyla baskın faz haline geldiği görülmektedir.
- Cam takviyeli polyesterin, bitümün yalıtım malzemesi üretiminin ham maddesi olarak yer aldığı üretimlerde yararlanılan diğer inorganik dolgu malzemelerinin yerine rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Ağar, E. (1975). *Bitümlü kaplamalarda kullanılan asfalt çimentolarının çekme dirençlerinin incelenmesi*. Doçentlik Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ASTM. (2004), *Annual Book of ASTM Standard*. ASTM, Philadelphia, PA.
- Bell, C.A. (1989). *Aging of asphalt aggregate systems*, Summary Report, SR-OSU-A-003A-89-2, Oregon State University.
- Bell, C.A., Wahab, A.Y., Cristi, M.E., & Sosnovske, D. (1994a) *Selection of laboratory aging procedures for asphalt-aggregate mixtures*. SRP-A-383, National Research Council Washington D.C.
- Bell, C.A., Sosnovske, D., & Wieder J.A. (1994b). *Aging, binder validation*, SHRP-A-384, National Research Council Washington D.C.
- Bell, C.A., Wieder J.A., & Fellin J.M. (1994c). *Laboratory of asphalt aggregate mixtures*. SHRP-A-390, National Research Council Washington D.C.
- Bledzki, A.K., Kurek, K., & Barth, C. (1992). Development of a thermoset part with SMC reclaim. *Proceedings of ANTEC '92: 50 years: plastics shaping and the future*. s. 1558–1560.
- Bos, G. (2002). EU waste legislation and the composites industry. *Seminar on recycling of composite materials*, IFP SICOMP, Molndal.
- Bream, C.E. ve Hornsby, R.P. (2002a). Comminuted thermoset recycle as a reinforcing filler for thermoplastics Part I: characterisation of recycle feedstocks. *Journal of Materials Science*, 36, s. 2965–2975.

- Bream, C.E. ve Hornsby, R.P. (2002b). Comminuted thermoset recyclate as areinforcing filler for thermoplastics Part II: Structure-property effectsin polypropylene compositions. *Journal of Materials Science*, 36, s. 2977–2990.
- Butler, K. (1991). Recycling of molded SMC and BMC materials. *Proceedings 46th Annual Conference of Composites Institute of The Society of Plastics Engineers*, s. 1–8.
- Ceylan, S. (2006). *Bitümlü sıcak karışımlardafiller olarak carboniferous-triassic kayaç tozlarının kullanılması ve etkisi*. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 19-20
- Conroy, A., Halliwell, S., Reynolds, T., & Waterman, A. (2004). *Recycling fibrereinforced polymers in construction: a guide to best practicable environmental option*. London: Building research establishment
- Cunliffe, A.M., Jones, N., Williams, P.T. (2003). Pyrolysis of composite plasticwaste. *Environmental Technology*, 24, s. 653–63.
- Curcuras, C.N., Flax, A.M., Graham, W.D., & Hartt, G.N.(1991). *Recycling of thermoset automotive components*. SAE Technical Paper 910387. Warrendale, PA: Society of Automobile Engineers
- DeRosa, R., Tefeyan, E., & Mayes, S. (2004). Expanding the use of recycled SMC in BMCs. *Proceedings of Global Plastics Envinronmental Conference 2004—Plastics: Helping Grow A Greener Environment, GPEC 2004*, s. 371–83.
- Dow, A. W. (1903). Asphalt experiments at Washington. *Engineering News Record* 47, 18-25

- Edler, A.C., Craus, J., & Mc. Kenzie, D. (1985). Use of aging tests to determine the efficiency of hydrated lime to asphalt in retarding its oxidative hardening. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 54, 118-139
- Fenwick, N.J., & Pickering, S.J. (1994). Using waste materials to reduce emissions-combustion of glass reinforced plastic with coal in a fluidised bed. *Proceedings of Conference on Engineering Profit from Waste IV*, s. 157–66.
- Griffin, R.L., Miles, T.K., & Penther, C.J. (1955). Microfilm durability test for Asphalt, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 34, 31-42
- Halliwell, S., & Reynolds, T. (2003). Markets for fibre reinforced polymer recycle Network group for composites in construction. *Proceedings of the Third Annual Conference: Fibre Reinforced Polymers in the Built Environment*. Nottingham: Nottingham International Clothing Centre.
- Hart, G.N., & Carey, D.P. (1992). *Economics of recycling thermosets*. SAE Technical Paper 920802. Warrendale, PA: Society of Automobile Engineers
- Hattie, R.L. (1983). *Estimating the durability of chem-crete modified paving asphalt*. Special Report, Alaska Department of Transportation, Alaska, USA.
- Her Majesty's Stationery Office (HMSO). (1962). *Bituminous Materials in Road Construction*. Oxford Press, London.
- Hugo, F., & Kennedy, T.W. (1985). Surface cracking of asphalt mixtures in South Africa, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 54, 454-501
- Hveem, F.N., Zube, E., & Skog, J. (1963). Proposed new tests and specifications for paving grade asphalts, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 32, 247-327

- Ishai, I. (1987). A suggested methodology for the analysis of asphalt age hardening, *ASTM Journal of Testing and Evaluation*. JTEVA 5, 3-16
- İsfalt, (2002). *Asfalt El Kitabı*. İsfalt Bilimsel Yayınları No:2, 568-574
- Şengöz, B. (2003). *Asfalt film kalınlığının bitümlü karışımların yaşlanmasına ve suya duyarlılığına etkisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 70-71
- Jacob, A. (2009). *The composites industry in Turkey*. Retrived July 22, 2011 from, <http://www.reinforcedplastics.com/view/8797/dsm-composite-resins-expands-operations-in-turkey>
- Kemp, G.R., & Predoehl, N.H. (1981). A Comparison of field and laboratory environments on asphalt durability, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists* 50, 492-537
- Kim, O.K., Bell, C.A., Wilson, J., & Boyle, G. (1986). *Effect of moisture and aging on asphalt pavement life*. Effect of aging, FHWA OR-RD-86-01-2, Oregon department of Transportation and the Federal Highway Administration.
- Lee, D.Y. (1968). Development of laboratory durability test for asphalts, *Highway Research Board*, 23,34-49
- Lee, D.Y. (1973). Asphalt durability correlation in Iowa, *Highway Research Record*, 468, 43-60.
- Lewis, R.H., & Welborn, J.Y. (1940). Report on the properties on the residues of 50-60 and 85-100 Penetration asphalts from oven tests and exposure, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 11,86-157.

- Neşer, G., Şengöz, B. ve Görkem, Ç. (2010). Tekne üretimi kaynaklı cam takviyeli polyester atıkların asfalt betonu kaplamalarında geri dönüşümü. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, 182, s. 27-33
- Nicholson, V. (1937). A laboratory oxidation test for asphaltic bitumen, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 9, 208-214.
- Orhan, F. (2004). *Bitümlü karışımlar laboratuvarı çalışmaları*. Kara Yolları Genel Müdürlüğü, Ankara 10-24.
- Özkara, S. (2009). *Cam takviyeli polyeesterin asfalt içinde geri dönüşümü*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Pauls, J.T., & Welborn J.Y. (1952). Studies of the hardening properties of asphaltic materials, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 21, 48-75
- Petersen, J.C. (1989). A thin film accelerated aging test for evaluating asphalt oxidative aging, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 58, 187-195
- Petersen, J.C. (1984). Chemical composition of asphalts related to asphalt durability, *Transportation Research Record*, 1391, 1-11
- Petersen, J.C., 1993. Effect of physicochemical factors on asphalt oxidation kinetics, *Transportation Research Record*, 999, 13-30
- Pickering, S.J., & Benson, M. (1991). *The recycling of thermosetting plastics*. Proceedings of Second International Conference Plastics Recycling of Plastics and Rubber Institute. London, s. 23/1–10.
- Pickering, S.J., & Benson, M. (1993). Recovery of materials and energy from thermosetting plastics. *Proceedings of Sixth European Composite Materials*

- Conference On Recycling Concepts And Procedures*. Bordeaux: European Association for Composite, s. 41–46.
- Pickering, S.J., Kelly, R.M., Kennerley, J.R., & Rudd, C.D. (2000). A fluidised bedprocess for the recovery of glass fibres from scrap thermosetcomposites. *Composites Science and Technology*, 60, s. 509–23.
- Plancher, H., Green, E.L., & Peterson J.C. (1976). Reduction of oxidative hardening of asphalts by treatment with hydrated lime, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 45, 1-24
- Santucci, L.E., Goodrich, J.E., & Sunberg, J.E. (1981). The effect of crude source and additives on the long term oven aging of paving asphalts, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 50, 560-571
- Schimdt, R.L., & Santucci, L.E. (1969). The effect of asphalt properties on the fatigue cracking of asphalt concrete on the Zaca-Wigmore test Project, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 38, 39-64.
- Scheirs, J. (1998). *Polymer recycling - science technology and applications*. London: Wiley
- Sims, B., Boot, C.A., & Lakshamanan (1993). *Process for separating fibres from composite materials*. International Patent WO 93/05883
- Sims, G., & Bishop, G. (2001). *UK Polymer composites sector-competitive analysis and foresight study: Final Rapor*. NPL Materials Centre, Londra.
- Skrifvars, M. (2011). *Introduction to composites recycling*. COMPOSITthematic network workshop, Recycling of composite materials intransport, SICOMP, Pitea, June, 13, 2011, from, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X05002101>

- Soh, S.K., Lee, D.K., Cho, Q., & Rag, Q. (1994). *Low temperature pyrolysis of SMCscrap*. Proceedings of 10th Annual ASM/ESD Advanced Composites Conference, Dearborn, s. 47–52.
- Tia, M., Ruth, C.T., Charai, J.M., Richardson, D., & Williams, J. (1988). *Investigation of original and in-servıce asphalt properties fort he development of improved specifications, final phase of testing and analysis*. Final Report, University of Florida
- Thomas, W.F. (1960). An investigation into the factors likely to affect the strength and properties of glass fibres. *Physics and Chemistry of Glasses 1(1)*, s. 4–18.
- Traxler, R.N. (1961). Relation between asphalt compositions and hardening by volatilization and oxidation, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 30, 359-377
- Traxler, R.N. (1963). Durability of asphalt cements, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 32, 44-58.
- Tuffour, Y.A., Ishai, I., & Crasus, J. (1989). Related asphalt aging and durability to its compositional changes, *Transportation Research Board*, 58, 163-169
- Tüpraş, (1985). Makine Yağları Ünitesi. *Distilasyon kulesi operatör eğitim dökümanları*.
- Uluçaylı, M. (1998). Bitümlerde oksidasyon sorunu, *İsfalt Yol Kültürü*, 3, 175-185
- Vallegra, B.A. (1981). Pavement deficiencies related to asphalt durability , *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 50, 481-489
- Von Quintas, H., Scherocman, J., Kennedy, T.W., & Huges, C.S. (1988). *Asphalt aggregate mixture analysis sysytems*. Final Report to NCHRP.

Welborn, J.Y. (1979). *Relationship of asphalt cement properties to pavement durability*. National Cooperative Highway Research Program, 99, 41-57.

Yip, H.L.H., Pickering, S.J., & Rudd, C.D. (2002). Characterisation of carbon fibresrecycled from scrap composites using fluidized bed process. *Plastic and Rubber Composites*, 31(6), s. 278–82.

Whiteoak, D. (2004) *Shell bitüm el kitabı*. Lav, H A. Ve Lav A. (Ed.), İstanbul Büyükşehir Belediyesi _İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.S. (33-34, 47, 50, 101-114, 123, 133-136, 148, 150-159). İstanbul

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Termoset kompozitler için geri dönüşüm prosesleri	4
Şekil 1.2	Termoset kompozitlerin kalorifik değeri.....	9
Şekil 1.3	Sıvılaştırılmış yatak geri dönüşüm işlemi	11
Şekil 1.4	Proliz süreci.....	12
Şekil 1.5	Türkiye’de cam takviyeli plastik kullanımının sektörlere göre dağılımı	14
Şekil 1.6	Yol üst yapısında kullanılan bitümlü bağlayıcıların sınıflandırılması (KYGM Ankara,2004)	36
Şekil 1.7	Bitüm üretiminin şematik gösterimi (Whiteoak, D.-2004)	37
Şekil 2.1	Atık cam takviyeli polyster	41
Şekil 2.2	Mikser ve karışım numunelerinden örnekler	41
Şekil 2.3	Penetrasyon deney düzeneği	42
Şekil 2.4	Brookfield Viskozimetresi	43
Şekil 2.5	Yumuşama Gelişimi.....	45
Şekil 2.6	Kırılma Deneyi Düzeneği ve Numuneler.....	46
Şekil 2.7	Etüv Numune Yerleşimi.....	47
Şekil 3.1	CTP katkı oranlarına göre penetrasyon ve viskozitenin değişimi.....	50
Şekil 3.2	CTP katkı oranlarına göre yumuşama ve kırılma noktaları değişimi.....	50
Şekil 3.3	CTP katkı oranlarına göre akma sıcaklığı değişimi	51
Şekil 3.4	Yaşlandırma öncesi ve sonrası karışımdaki fazların değişimi(Mikroskop görüntüleri 1/30000 ölçekli olarak sunulmuştur).....	53
Şekil 3.5	Penetrasyon değerlerinin yaşlanmayla değişimi	55
Şekil 3.6	Vizkozite değerlerinin yaşlanmayla değişimi	55
Şekil 3.7	Yumuşama sıcaklığı değerlerinin yaşlanmayla değişimi	56
Şekil 3.8	Kırılma sıcaklığı değerlerinin yaşlanmayla değişim.....	56
Şekil 3.9	Kırılma sıcaklığı değerlerinin yaşlanmayla değişimi.....	57

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1	Bitümlü bağlayıcının yaşlanmasını etkileyen faktörler (Traxler, 1963) .	18
Tablo 1.2	Yaşlanmamış bağlayıcılara ilişkin bileşenler (Tuffour ve diğ., 1989)....	22
Tablo 1.3	Asfalt kaplamadan geri kazanılmış bağlayıcı bileşenleri (Tuffour ve diğ., 1989).....	23
Tablo 1.4	BOSCAN AC-10 bağlayıcının değişik yöntemler kullanılarak yaşlanma düzeyleri (Petersen, 1989).....	26
Tablo 1.5	Laboratuarda yaşlandırma ve değerlendirme yöntemleri (Bell, 989)	33
Tablo 2.1	Atık malzemenin tanecik boyutları dağılımı	40
Tablo 3.1	Üç bitüm çeşidine göre deney sonuçları (her değer üç ölçümün aritmetik ortalamasını ifade etmektedir.).....	49
Tablo 3.2	Yaşlandırma öncesi ve sonrası analiz sonuçları (her değer üç ölçümün aritmetik ortalamasını ifade etmektedir.)	54

KISALTMALAR

AAMAS	Asphalt Aggregate Mixture Analysis Study
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	American Society for Testing Materials
BMC	Bulk Moulding Compound
CTP	Cam Takviyeli Polyester
EN	Europeane Norm
ERCOM	Europen Recycling of Composite Materials
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
KYGM	Kara Yolları Genel Müdürlüğü
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
SMC	Sheet Moulding Compound
SICOMP	Swedish Institute of Composites
SHRP	Strategic Highway Research Program
TS	Türk Standartları
TTRL	The British Road Research Laboratory