

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN
ÇEVRESEL YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

MURAT ÖZGÜR POLAT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GEBZE
2013

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN
ÇEVRESEL YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

MURAT ÖZGÜR POLAT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. NİHAL BEKTAŞ

GEBZE

2013



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS/DOKTORA JÜRİ ONAY FORMU

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından/...../..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan'ın tez çalışması Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Nihal BEKTAŞ

ÜYE : Prof. Dr. Güleda ENGİN

ÜYE : Doç. Dr. Salim ÖNCEL

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIMLARIN ÇEVRESELYAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

YAZAR ADI: MURAT ÖZGÜR POLAT

Dünya'da hızlı gelişen tüketim alışkanlıkları ve teknolojik gelişmeler neticesinde ortaya çıkan çevresel sorunlar her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle ortaya çıkan çevresel etkilerin öncelikle iyi ve doğru şekilde kavranması ve buna yönelik önlemler alınması gerekliliği yeni metotların bulunmasını zorunlu hale getirmiştir.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) Analizleri de çevresel yükü bulmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi; herhangi bir ürünün üretiminden başlamak kaydı ile kullanım faaliyetlerini de kapsayan ve çevre üzerindeki tüm etkisini ölçebilen nicel bir analizdir. Burada amaç, değerlendirilen ürünün kendi yaşam çemberinde geçirdiği tüm evrelerin değerlendirilerek ele alınmasını sağlamaktır. YDD, çevresel risk oluşturan kaynakların ürün alternatiflerini kıyaslamayı mümkün kılmaktadır.

Türkiye'de otomotiv endüstrisinin hızlı gelişimi, yolcu ve yük taşımacılığındaki artış dayanımı yüksek ve sağlam yollara olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu da yollarda kullanılan ana malzeme olan asfaltın önemini de arttırmıştır. Asfaltın dayanıklı ve sağlam olması istenirken çevresel etkilerinde azaltılmış olması tercih nedeni olmaktadır.

Bu çalışmada, farklı içeriklere sahip asfalt üretimlerinin, yaşam döngüsü analizlerinin değerlendirilmesi bir bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Bu analizler kullanılarak, etki değerlendirmesi ile çevreye en az emisyon yayan asfalt tipinin belirlenmesine ve birbirleri ile kıyaslanmasına çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Asfalt, SimaPro, ISO14040

SUMMARY

TITLE: ENVIRONMENTAL LIFE CYCLE ANALYSIS OF HOT BITUMEN MIXTURES

AUTHOR: MURAT ÖZGÜR POLAT

The environment problems have been increasing as a result of rapid population growth, improved technology and economic development. The understanding of the environment impacts and measures of these problems should be made correctly and new methodological approaches should therefore be developed.

The environmental life cycle assessment is one of these methods used to find the environmental burden. Life cycle assessment is a methodology used for assessing the environmental performance of materials or services over their life time. The objective of this analysis is to evaluate all phases of the product in its own circle of life. LCA makes possible to compare the alternative products that are exposing environmental risk.

The rapid development of the automotive industry and increase in passenger and freight transportations in Turkey increased the need of high rugged and resistance roads. As a result, the importance of asphalt used as main material on the roads was increased. As asphalt pavements want to be strong and the minimized of environmental impacts is another reason to be preferred.

In this study, life cycle analysis of asphalt production with different properties was evaluated using a computer program. The impact assessment and emit fewer emissions to the environment were studied using this analysis and the comparison of different type of asphalts were also determined.

Key Words: Life Cycle Assessment, Asphalt, SimaPro, ISO14040

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, desteğiyle, tavsiye ve yönlendirmeleri ile bilgi ve güler yüzlülüğünü esirgemeyen, karşılaştığım problemlerin çözümünde deneyimlerinden yararlandığım, değerli danışman hocam Doç. Dr. Nihal BEKTAŞ'a,

Tez çalışmasında kullanmış olduğum bilgisayar programı ile ilgili her soruma sabırla ve içtenlikle cevap veren Dr. Hüdai KARA'ya (Metsims Sustainability Consulting, UK),

Hayatımın her alanında ve her zaman yanımda olan, gösterdikleri büyük destek ve anlayışları için annem Elif POLAT, babam Yusuf POLAT, kardeşlerim Duygu POLAT ve Canberk POLAT ile desteğini her an hissettiğim değerli nişanlım Ayça DURAZ'a

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Murat Özgür POLAT

Çevre Mühendisi

Nisan, 2013

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Önceki Çalışmalar	2
2. ASFALT	6
2.1. Asfaltın Tarihçesi.....	6
2.2. Asfalt Üretimi.....	7
2.2.1. Asfalt Üretimi İçin Gerekli Olan Agreganın Temini.....	9
2.2.1.1. Ocak Çalışmaları.....	11
2.2.1.2. Taş Kırma İşleminin Yapılması	11
2.2.1.3. Eleme İşleminin Yapılması	11
2.2.1.4. Agrega Üretiminde Dikkat Edilecek Hususlar	12
2.3. Asfalt Üretimi İçin Gerekli Olan Bitümün Temini	12
2.4. Sıcak Asfalt Karışımlarının Üretilmesi.....	16
3.YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ.....	21
3.1.Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Tarihçesi	23
3.2.YDD'nin Yapısı ve Standardizasyonu	25
3.2.1. ISO 14040 Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme - Prensip ve Çerçeve.....	26
3.2.2. ISO 14044 Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme- Gerekler ve Kılavuz.	27
3.2.2.1. Amaç ve Kapsam Tanımı	28
3.2.2.2. Yaşam Döngü Envanter Analizi	30
3.2.2.3. Yaşam Boyu Etki Değerlendirilmesi.....	32
3.2.2.4. Yaşam Boyu Yorumu	33

3.3. YDD Üzerine Çalışan Kurumlar.....	34
3.3.1.SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry).....	34
3.3.2. ISO (The International Organization for Standardization).....	35
3.3.3. UNEP (United Nations Environment Development).....	35
3.4. YDD'nin Uygulama Alanları ve Kullanıcıları	36
3.4.1.Çevresel Ürün Beyanları (Environmental Product Declaration-EPD)	37
3.4.2.AB Eko - Etiket (Eco-label)	39
4. MATERYAL VE METOT	40
4.1. Çalışma Yapılan Tesis.....	40
4.2.Asfalt Üretimindeki Hammadde ve Enerji Kullanımı	43
4.3. Yaşam Döngü Değerlendirmesi Analiz Çalışmaları	44
4.3.1.Hedef ve Kapsam Tanımı.....	46
4.3.1.1.Hedef	46
4.3.1.2.Kapsam.....	46
4.3.2. Envanter Analizi	48
4.3.2.1.Veri Toplama.....	48
4.3.2.2.Varsayımlar	49
4.3.2.3.Hesaplama Yöntemi	49
4.3.3. Etki Analizi	50
4.3.4. Yorum	51
4.4. SimaPro Yazılımı ile Asfalt YDD	51
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	56
5.1. Tip 1- Asfalt	56
5.2. Tip 5- Asfalt	58
5.3. Binder Asfalt;.....	61
5.4. Üretimi Yapılan Üç Asfalt Türünün Karşılaştırılması	64
6. SONUÇLAR.....	69
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASMÜD	Asfalt Mütcaahhitleri Derneği
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
CFCs	Kloroflorokarbonlar
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
ÇYD	Çevresel Yaşam Döngüsü
Eco-label	AB Eko- Etiketi
EPD	Environmental Product Decleration (Çevresel Ürün Beyanları)
ISO	International Organization of Standardisation (Uluslararası Standartlar Örgütü)
km	Kilometre
LCA	Life Cycle Assesments (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi)
N ₂ O	Diazot monoksit
SETAC	Society for Environment Toxicology and Chemistry (Çevre ve Kimya Toksikoloji Derneği)
US EPA	U.S. Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)
YASED	Uluslararası Yatırımcılar Derneği
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Asfalt kaplama yapımında temel süreçler.....	8
Şekil 2.2. Konkasör tesisi plan, kesit ve detayları.....	10
Şekil 2.3. Bitüm elde edilen rafinerinin şematik görünüşü.....	14
Şekil 2.4. Harman tipi asfalt plenti.....	17
Şekil 2.5. Sürekli tip asfalt plenti.....	18
Şekil 2.6. Kazan (Drum) tipi asfalt plenti.....	18
Şekil 3.1. Çevresel sistem analizi.....	22
Şekil 3.2. Yaşam döngüsü değerlendirmesi çerçevesi.....	26
Şekil 4.1. Asfalt tesisinin genel görünümü.....	40
Şekil 4.2. Asfalt tesisinin genel görünümü.....	42
Şekil 4.3. Üretilen asfaltın depolandığı ve kamyonlara nakledildiği silo.....	42
Şekil 4.4. LCA çalışması yapılan asfalta ait üretim akım şeması	47
Şekil 4.5. Oluşturulan projeye ekranına ait görünüm.....	51
Şekil 4.6. Karşılaştırılacak asfalt tiplerinin oluşturulduğu ekrana ait görünüm.....	52
Şekil 4.7. Tip-1 asfalt içeriği program ekranı.....	53
Şekil 4.8. 1 nolu agreganın oluşturulduğu program ekranından bir görünüm.....	54
Şekil 4.9. Programda oluşturulan Tip-1 asfalt içeriği ekran görüntüsü.....	54
Şekil 5.1. Tip-1 asfalt tipine ait LCA diyagramı.....	56
Şekil 5.2. Tip-1 asfalt üretimine ait CO ₂ kaynakları ve miktarları.....	58
Şekil 5.3. Tip-5 asfalt tipine ait LCA diyagramı.....	59
Şekil 5.4. Tip-5 asfalt üretimine ait CO ₂ kaynakları ve miktarları.....	61
Şekil 5.5. Binder asfalt tipine ait LCA diyagramı.....	62
Şekil 5.6. Binder asfalt üretimine ait CO ₂ kaynakları ve miktarları.....	64
Şekil 5.7. Üç farklı asfalt tipinin çevresel etkileri.....	65
Şekil 5.8. GHG Protokolüne göre CO ₂ kaynakları.....	66

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Çeşitli kaynaklardan yayılan Benza(a) piren emisyonları	16
Tablo 2.2. Asfalt plenti elemanları ve fonksiyonları	19
Tablo 3.1. ISO 14040 Standartları Serisi	25
Tablo 3.2. Örnek fonksiyonel birimler	30
Tablo 4.1. Üretimi yapılan farklı asfalt türlerinin içeriği	43
Tablo 4.2. Tip-1 Asfalt üretiminde kullanılan malzeme miktarları	48
Tablo 4.3. Tip-5 Asfalt üretiminde kullanılan malzeme miktarları	48
Tablo 4.4. Tip-5 Asfalt üretiminde kullanılan malzeme miktarları	48
Tablo 4.5. Agregas üretiminde kullanılan kırıcıya ait elektrik sarfiyatı	49
Tablo 5.1. Tip-1 Asfalt tipine ait etki değerlendirmesi	57
Tablo 5.2. Tip-5 Asfalt tipine ait etki değerlendirmesi	60
Tablo 5.3. Binder Asfalt tipine ait etki değerlendirmesi	63
Tablo 5.4. Üç farklı asfalt tipine ait etki değerlendirmesi	66
Tablo 5.5. Üç farklı asfalt tipinin CO ₂ etki kategorileri ve miktarları	67

1. GİRİŞ

Dünyada nüfus artışı ile birlikte tüketim ve buna bağlı olarak da çevre sorunları gittikçe artmaktadır. Çevre sorunları arttıkça çevre bilinci de artmaya başlamıştır. Bu nedenle birçok ürün ve malzeme türünün çevresel zararlarının belirlenmesi önemli hale gelmiştir.

Çevresel etki yaratacak her malzeme, ürün ve prosesin beşikten mezara kadar olan yaşam süreçlerinde, çevre üzerinde oluşturabileceği etkilerin analizinin doğru şekilde yapılarak önlem alınması gerekliliği yeni teknik ve metotların gelişmesini olan ilgiyi arttırmıştır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) bu nedenlerle geliştirilen metotların birisidir.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, yaşam döngüsü boyunca kullanılan ve çevreye salınan enerji ve malzemelerin sistematik olarak açıklanması ve değerlendirilmesi yoluyla bir ürün ya da faaliyetle ilişkilendirilen çevresel yükleri ölçerek değerlendirmenin bilimsel bir yöntemidir.

Bu çalışmanın yapılması planlanırken öncelikle başta hava kirliliği olmak üzere gaz ve toz emisyonları ile partikül madde etkileri olan asfalt üretiminden dolayı ortaya çıkan çevresel sorunlar detaylı olarak belirlenmiştir. Bunlardan en önemlisi olan hava kirliliği son yıllarda özellikle sera gazı salınımlarına bağlı olarak küresel ısınmayı arttırmasıyla kontrol altına alınması gereken bir alandır.

Sera gazı olarak CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆, CFCs gibi gazların yıllar içerisinde atmosferde miktarının artması sonucu oluşan gaz katmanının güneş ışınlarının yansımaları etkilemesi nedeniyle sera etkisi oluşturmaktadır. Bunun sonucunda da güneş ışınları daha fazla atmosferde kalmakta bu da küresel ısıyı arttırmaktadır. Küresel ısınmanın artması buzulların erimesi, iklim değişikliği, tarımsal faaliyetlerin etkilenmesi gibi birçok zincirleme etki oluşturabilmektedir. Değişik araştırma merkezlerinden

elde edilen veriler, yer atmosferinin ortalama sıcaklığının 20. yüzyılda $0,6 \pm 0,2$ °C arttığını göstermektedir. 21. yüzyılın sonunda ise ortalama sıcaklık artışının en az 2°C olacağı öngörülmektedir. Bu sıcaklık artışına bağlı olarak buzulların erimesi sonucunda, son 10 yılda okyanus ve denizlerde 3 cm'lik bir su seviyesi artışı tespit edilmiştir. 2100 yılına kadar bu artışın 1 m'yi bulacağı tahmin edilmektedir. Bu durum deniz kıyısındaki kentlerin kıyı kesimlerinin su altında kalacağını göstermektedir.

Bu çalışmada ise farklı asfalt tiplerinin yaşam döngüsü analizleri, karbon miktarları ve kaynakları, Eco-indicator 99 veri tabanına sahip lisanslı SimaPro 7.2. bilgisayar programı ile hesaplanmaya çalışılmıştır. Burada amaç en az çevresel etki yapacak asfalt tipinin belirlenmesi ile asfalt içerisinde bulunan herhangi bir malzemenin değiştirilmesi sonucunda bunun çevresel etkide (ekotoksisite, karbon salınımı vb.) oluşturacağı artış veya azalışın belirlenmesini de sağlayabilecektir.

1.1. Önceki Çalışmalar

YDD, 1960'li yıllarda özel çalışmalar için geliştirilmiş olup sonrasında 1990'lar da net enerji analizleri ile ortaya çıkmıştır. Bunun yeterli olmaması üzerine daha sonraları su ve hava emisyonları da eklenmiştir. Fakat bu çalışmalar da çok detaylı olmamıştır. 1990'da Society for Environment Toxicology and Chemistry (SETAC), 1997'de International Organization for Standardisation (ISO), YDD için bir metodoloji geliştirmiştir. Birleşmiş Milletler (BM) Çevre Programı çevresel yaşam döngüsünü, çevresel yükü bulmak için yapılan bir yaklaşım olarak tanımlar ve bu tanımlama da çevresel kaliteyi artırmak için son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Literatürde, çeşitli ürün ve aktivitelerin YDD konusunda çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. 2009 yılında yapılan bir inceleme makalesinde katı atık yönetimi performansların değerlendirilmesi için YDD kullanımı incelenmiştir (Cleary, 2009). Bu çalışmada 2002-2008 yılları arasında

yayınlanan çeşitli çalışmalardaki katı atık yönetimi konusundaki YDD karşılaştırılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin YDD çalışmaları ile ilgili bir inceleme çalışmasında bu sistemlerin karbon emisyonlarının sıfır olmadığı yine klasik sistemlere göre tercih edilebilir olduğunu göstermiştir. Ayrıca yenilenebilir enerji sistemlerinden kaynaklanan karbon emisyonları aralığında mevcut literatürden tespit edilip ve fosil yakıt tabanlı sistemleri ile enerji besleme sistemleri rasyonel bir seçim şeklinde karşılaştırılmıştır (Varun ve ark. 2009). Langevin ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada çamur arıtım tekniklerinin çevresel performanslarını karşılaştırmak için literatür araştırmasına dayanılarak ve azot emisyonlarının değişkenliğini YDD analizleri ile incelemişlerdir. Heede ve Belie (2012) tarafından yapılan bir çalışmada geleneksel ve yeşil betonların çevresel etki ve yaşam döngüsü değerlendirmesi, literatür taraması ve teorik hesaplamalar çalışılmıştır. Enerji kullanımı ile ilgili envanter verileri, CO₂, PM₁₀, SO_x ve NO_x emisyonlarını toplanıp, sorun odaklı CML 2002 ve hasar odaklı Eco-indicator 99 veri tabanları ile kategorilere atanmıştır. Sonuç olarak da farklı metotlarla kullanan beton üretimlerini emisyonları listelenmiştir. Tingley ve Davinson (2012) tarafından yapılan çalışmada yeniden kullanılan malzeme veya ürünlerin içlerindeki sökülmesi ve tasarımı dahil binaların araştırılması, yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmaları için bir metodoloji oluşturmuşlardır. Sakura adı verilen bu metodolojide sınırlar ve fonksiyonel üniteler ana hatları ile belirlenmiştir. Sakura özel bina tasarım projeleri içinde sökülmesine için tasarım avantajları göstermek için geliştirilmiştir. Böylece yaşam döngüsü analizi çalışmaları için uygulanabilir farklı yöntemlere genel bir bakış sağlanmıştır.

Asfalt üretimi ve kullanımı ile ilgili de literatürde bazı çalışmalar bulunmaktadır. Geri dönüştürülmüş malzeme ile asfalt üretiminin YDD analizi Chiu ve ark. (2008) tarafından yapılan bir çalışma ile yayınlamıştır. Bu çalışmada, üç farklı geri dönüştürülmüş malzeme (sıcak asfalt karışım, asfalt kauçuk ve cam asfalt) karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda düşük sıcaklıkta yapılan üretimin en çevreci üretim yöntemi olduğu belirlenmiştir. Huang ve ark. (2009) tarafından yapılan bu çalışmada ise asfalt döşemeleri için

çevresel yaşam döngüsü (ÇYD) modeli geliştirilmesi anlatılmıştır. Bu model mevcut modeller incelenerek, sadece asfalt döşemeler için özellikle geliştirilmiştir. Butt ve ark. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, asfalt döşemelerinin ÇYD analizi ile enerji girdileri ve katkı maddelerine göre alternatif ÇYD analizi çıkarmışlardır. Çalışma sadece üretim aşaması ile sınırlı kalmış olup, serme ve kullanım basamakları analize dahil edilmemiştir. Sonuç olarak, yukarıda yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan asfalt üretiminde oldukça fazla enerji kullanımının olduğu, katkı maddeleri kullanımı ile düşük sıcaklık üretiminin bu kullanımı azaltacağı öngörülmüştür.

Ülkemizde de bu konuda bazı çalışmalar mevcuttur. Yapılan iki ayrı çalışmada iki farklı ilin katı atık yönetim opsiyonlarının değerlendirilmesi ve alternatifleri ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar ile mevcut durum ve alternatifleri incelenerek çevre etkileri değerlendirilmiştir [Özeler ve ark. 2006; Banar ve ark. 2009].

Ayrıca yine YDD konu alınarak yapılan bir çok tez çalışması da bulunmaktadır. Çokaygil (2005) tarafından yapılan bir tez çalışmasında, gıda sektöründe kullanılan cam şişe ve bariyer katmanlı karton kutu olmak üzere iki farklı ambalaj tipi ile peynir ambalajı olarak kullanılan tamamen plastik (PP), teneke-plastik (PE) ve karton-plastik (PA/PE) olmak üzere üç farklı ambalaj tipinin yaşam döngüsü analizleri yapılmıştır.

Diğer bir tez çalışmasında, otomobil endüstrisinde geri dönüşüm ve ürün yaşam döngü değerlendirmesi (YDD) incelenmiştir [Sünbül, 2006]. Otomobil endüstrisinde geri dönüşümün genel esasları vurgulanarak, otomobil endüstrisinde enerji tasarrufu, çevre politikaları doğrultusunda öne çıkan malzemeler, çevresel sorunlar ve etkilerinin en aza indirgenmesine önderlik edebilen yaşam döngü değerlendirmesi irdelenerek sonuçları ortaya konmuştur.

Yaşam Döngüsü Değerlendirme yöntemiyle, İzmir kenti için hazırlanan Konut Değerlendirme Modelinin geliştirme süreci, İzmir'den seçilen konutlar üzerinde denenmesi diğer bir tez çalışmasında yapılmıştır [Bozkurt, 2007].

Tez sonunda geliştirilen bu model ile bir yazılım programı kullanarak, binalardaki enerji tüketimini, katı atık oluşturma durumu, su kirlilik endeksi, hava kirliliği endeksi, küresel ısınma potansiyeli ve doğal kaynak kullanımı konularında karşılaştırmalı analizler yapılmıştır.

YDD metodu ile farklı atıksu arıtma teknoloji ve standartların çevresel masraflarını ve yararlarını değerlendirmesi Ün (2009) tarafından yapılan bir tez çalışmasının konusu olmuştur. Atıksuların arıtıldığı tesislerin girdi (kullanılan kimyasal madde, elektrik enerjisi v.b.) ve çıktıların (havaya, suya ve toprağa verilen emisyonlar, oluşan çamur miktarı v.b.) bir envanteri yapılmış, girdi ve çıktılarla ilgili muhtemel çevre etkileri değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar çalışmanın amaçları ile bağlantılı bir şekilde yorumlanmıştır.

Binalar ile ilgili yapılan bir YDD tez çalışmasında, enerji korunumunda önemli bir yere sahip olan ve binalarda yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemelerinden ekspande polistren (EPS) ile buna alternatif olarak kullanılacak taş yününün beşikten kapıya (cradle to gate) olan süreçte hangisinin daha çevre dostu olduğunu ortaya konmuştur [Çamur, 2010].

YDD analizi literatürde gerek inceleme gerekse araştırma makalelerinde bir çok çalışmanın konusu olmuştur. Asfalt döşeme üretimi, hammadde ve enerji kullanımının yoğun olduğu sektörlerden biri olduğundan yapılacak YDD analizleri ile üretilen asfalt çevre kirliliği oluşmadan önce, çevresel etkileri önceden tespit edip önlem alan koruyucu çevre politikaları açısından önemli olacaktır.

2. ASFALT

2.1. Asfaltın Tarihçesi

Asfalt, 5000 yıldan daha uzun süredir bilinen ve bu zaman içinde kendini kanıtlamış bir inşaat malzemesidir. İlk zamanlarda doğal depozitlerden elde edilen asfalt, geçirimsizliği sağlayan bir kaplama malzemesi ve harç olarak da kullanılırdı. Günümüzde asfalt halen geçirimsizliği sağlayan bir kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Asfaltlı yol inşaatının geçmişi en fazla 100 yıl öncesine dayanmaktadır, o zamanlarda asfalt, bağlayıcı kullanılmadan yapılan yüzey tabakası üzerinde seyreden araçların kaldırdığı tozu önlemek amacıyla kullanılmıştır. İlk asfalt karışım tesisi 1920 ve 1930 yılları arasında işletmeye alınmıştır [Irving, 1998; İSFALT, 2001].

Türkiye'de ilk asfalt uygulamaları Osmanlı döneminde başlamış ve penetrasyon-makadam kaplamaların yapımında Fransız'lardan destek alınmıştır. Cumhuriyet döneminde, 1929'da başlayan asfalt kaplama yapımı, 1948'de ABD'den sağlanan Marshall Teknik yardımı ile yaygınlaştırılmış ve 1950'de Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kurulması ile sürekli gelişim dönemi başlamıştır.

1950 yılında yaklaşık 9.500 km olan karayolu ağı, 01.01.2007 itibariyle 64.196 km'ye ulaşmıştır. Aradan geçen zaman içinde Türkiye'de otomotiv endüstrisinin gelişmesiyle, karayoluyla yapılan yük ve yolcu taşımacılığı oranı her geçen gün artmış, ihtiyaçlara paralel olarak imkânlar ölçüsünde hedef ve politikalar da değişmiştir. 1980'li yıllarda mevcut karayolu ağının standartlarının yükseltilmesi için rehabilitasyon projeleri uygulanmaya konmuş, Türkiye'de otoyol ağının geliştirilmesi çalışmalarına başlanmıştır. Yeni projeler ve otoyol hamlesi, Türk asfalt endüstrisinde önemli gelişime ve büyümeye neden olmuş, yeni teknolojilerin transferi, bilgili insan gücü, artan üretim ve makine parkıyla bugüne gelinmiştir.

2003 yılı istatistiklerine göre ulaştırma alanında, yük taşımacılığında %92, yolcu taşımacılığında ise % 95 payı olan karayolu ulaşımı, üretim yerinden tüketim mahalline aktarmasız ve hızlı taşıma yapılmasına uygun olması nedeniyle, günümüzde de diğer taşıma türlerine göre daha fazla tercih edilen bir ulaşım sistemi haline gelmiştir [ASMÜD, 2006].

İnsan ve araç yoğunluğundaki artış nedeniyle, büyük bir sorun haline gelen trafik kazalarını azaltmak can ve mal güvenliğini sağlamak için karayolu standartlarının yükseltilmesi amacıyla Acil Eylem Planı hazırlanmış olup bu kapsamda yapımı planlanan 15.000 km'lik bölünmüş yolun öncelikle 6.000 km'lik kesiminin yapımına 2003 yılında başlamıştır. Bu plan doğrultusunda 1 Ocak 2007 tarihi itibariyle %93' asfaltla kaplı olan 64.196 km uzunluğundaki karayolu ağımızın, %15'i belirli bir stabiliteye sahip olan bitümlü sıcak karışım (BSK) tabakalarıyla, % 78'i ise sadece yol yüzeyini kapatma özelliğine sahip bitümlü sathi kaplamayla inşa edilmiştir. Toplam yol ağının 2.431 km'si otoyol, 9.258 km'si bölünmüş devlet ve il yolu standardında olup, bölünmüş devlet ve il yollarının % 34' BSK tabakaları ile kaplıdır [ASMÜD, 2006].

2.2. Asfalt retimi

Asfalt karışımları genel olarak iki ayrı hammaddeden oluşur. Bunlardan biri agrega, diğeri de bitmdr. Bitüm, rafinerilerde petrolün damıtılmasından elde edilirken, agrega ise taşocaklarından elde edilmektedir. Asfalt retimi öncesinde bu iki hammaddenin çok iyi kontrol edilmesi ve şartname limitleri çerçevesinde temin edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde üretilen asfalt kısa zaman içinde uygun malzeme seçiminden kaynaklanmayan nedenlerden dolayı bozulacaktır [Irving, 1998].

Asfalt karışımları, esnek üstyapı sistemi içinde tabakalı olarak uygulanan soğuk veya sıcak karışımlar olarak imal edilmektedir. Soğuk asfalt karışımları pahalı ve düşük stabiliteli olmaları nedeniyle esnek kaplamaların onarımları hariç kullanılamaz iken sıcak asfalt karışımları yaygın olarak

2.2.1. Asfalt Üretimi İçin Gerekli Olan Agreganın Temini

Agregalar taş ocaklarında bulunan konkasör tesislerinden elde edilmektedir. Asfalt kaplama karışımlarında kullanılan Agregalar, karışımın ağırlıkça % 90-96'sını, hacimce ise % 75-85'ini oluştururlar. Karışım içerisindeki agregaların ana görevi, bir iskelet oluşturarak yol üzerindeki trafik yükünü taşımaktır haline gelmiştir [İSFALT, 2001].

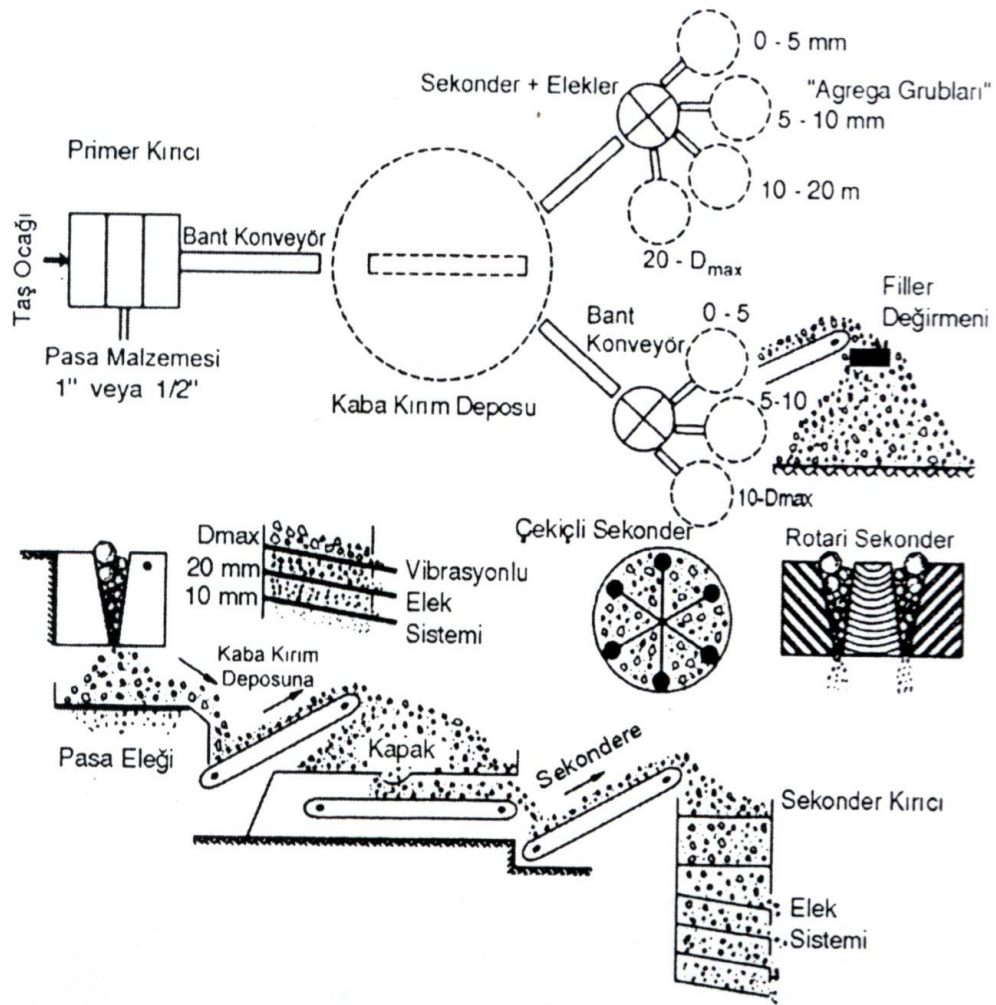
Bitümlü karışımlarda kullanılacak agreganın, kökeni (magmatik, tortul, metamorfik) ne olursa olsun, her kaplama tipi için şartnamelerde verilen fiziksel özellikleri sağlaması gerekir. Ancak aranan bütün koşulları sağlayan bir agrega karayolu üst yapısında kullanılabilir. Agregalar genel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar;

- Kaba agrega; No.4 (4,75 mm) elek üzerinde kalan kısım,
- İnce agrega; No.4 (4,75 mm) – No.200 (0,075 mm) elekler arasında kalan kısım,
- Mineral filler; en az % 65 'i No.200 eleği geçen kısım olarak ebatlarına göre sınıflandırılır.

Agregalar; temiz, pürüzlü, sağlam ve dayanıklı danelerden oluşmalıdır. İçerisinde yumuşak - dayanıksız parçalar, kil, organik ve diğer zararlı maddeler serbest veya agrega danelerini sarmış halde bulunmamalıdır.

Asfalt betonunda kullanılacak agregalarda, kaliteyi esas olarak belirleyen özellikler; aşınma mukavemeti (agreganın sertliği), soyulma mukavemeti (bitümün agregaya yapışma özelliği), donma mukavemeti (agreganın donmaya karşı direnci) ve yassılık miktarıdır. Bu değerler şartnameye uygunluk gösteriyorsa bu taş asfaltta agrega olarak kullanılabilir. Absorbsiyon ve filler miktarı ise daha çok asfaltın ekonomikliği ile alakalıdır [İSFALT, 2001; Monismith et al, 2001].

Sıcak asfalt karışımların üretimi için önce uygun vasıfta agregaların üretilmesi gerekir. Bu amaçla taş ocaklarından çıkarılan uygun büyüklükteki kayalar konkasör tesislerinde kırılarak agrega üretilir. Eğer kalite ve yakınlık açısından uygun taşocağı temin edilemiyorsa ve yakında bir dere ocağı varsa en az 1"(25 mm) üzerindeki çakılların konkasör tesislerinde kırılmasıyla da agrega üretmek mümkündür. Agregalar aşağıda Şekil 2.2.'de görülen konkasör tesislerinde 0-5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm ve/veya 20-Dmax gruplarında kırılarak elde edilir [Usmani, 1997].



Şekil 2.2. Konkasör Tesisi Plan, Kesit ve Detayları [Usmani,1997].

2.2.1.1. Ocak Çalışmaları

Kullanılacak kayanın kirlenmemesi amacıyla üstteki toprak örtüsü ve aşınmış kaya tabakası, çalışılan yüzden en az 8-10 metre geriye kaldırılarak temizlenir. Kademe yükseklikleri göz önüne alınarak delinen deliklere patlayıcı madde yerleştirilerek ateşleme yapılır. Kayanın delinmesi ve parçalanması için kullanılan yöntemler çeşitli olup, genellikle elde edilecek taşın kalitesini büyük ölçüde etkilemez. Taş kırma makineleri (konkasör veya kırıcı) için çok büyük olan kaya parçaları, delme ünitesi bulunan iş makineleri ile tekrar parçalamaya tabi tutulurlar. Elde edilen kaya parçaları yükleyiciler ile kamyonlara yüklenip konkasöre nakledilirler. Nakledilen kaya parçalarının içerisinde uygun olmayan malzemenin bulunması elde edilen agregaların kalitelerinin düşmesine sebep olur. Özellikle kayaya yapışmış haldeki çamur tabakası konkasörde agrega gibi kırılır ve uygun malzeme elde edilemez. Kırma tesisindeki by-pass ünitesi bu nedenle oldukça önemlidir [İSFALT, 2001; Monismith et al, 2001].

2.2.1.2. Taş Kırma İşleminin Yapılması

Üstün kalitede yol agregası isteniyorsa, ocaktan alındıktan sonra istenen büyüklüğe gelinceye kadar, en az birkaç kademeli bir kırma işleminin yapılması gereklidir. İlk kırıcılardan çıkan malzeme 15 cm veya daha küçüktür. Fakat bazı kırıcılarda üst limit 30 cm'ye kadar yükselebilir. İkinci ve bunu takip edecek kırma işlemleri için çeneli, konik, darbeli, düşey milli ve diskli olmak üzere çeşitli kırıcılar kullanılır [İSFALT, 2001; Monismith et al, 2001].

2.2.1.3. Eleme İşleminin Yapılması

Kırılmış olan kaya değişik büyüklükteki agrega gruplarına elekler vasıtası ile ayrılır. Yatay hareketli ve titreşimli, yatay ve eğimli, kare yada yuvarlak delikli olmak üzere birçok cins elek mevcuttur. Değişik tiplerin özellikleri agrega kalitesinden ziyade ocak ekonomisini ilgilendiren ve etkileyen bir husustur.

Zira agregalar, düzgün ölçülerle yapılmış, iyi bakım gören ve aşırı yüklenmeyen herhangi tip bir elek ile başarılı bir şekilde ayrılabilir. Agreganın derecelenmesine etkiyen en önemli olay, eleklerin fazlaca yüklenmeleridir. Diğer yandan özellikle yağışlı havalarda ıslak malzemenin kırılması ve tıkanan elek aralıklarında elemanın iyi yapılmaması ile istenen agrega boyutu sağlanamamaktadır [İSFALT, 2001; Monismith et al, 2001].

2.2.1.4. Agreganın Üretiminde Dikkat Edilecek Hususlar

Taş ocaklarında agrega üretimi yapılırken aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi asfaltın kalitesini de beraberinde arttıracaktır. Bunlar;

- Kil ve topraklı kısımlar iyice temizlenmiş olmalı,
- By-pass sistemi faal durumda olmalı,
- Düşük dayanımlı, ezilmiş – bozuşmuş (yapraksı) kısımlar asfalt agregası ile karıştırılmamalı,
- Konkasör tesisi kırma ve eleme olarak kapasitesinin üzerinde zorlanmamalı,
- Agreganın stok alanları temiz tutulmalı ve birbirlerine kontakları engellenmeli
- Segregasyon oluşmaması için çok yüksek agrega stoklarından kaçınılmalıdır [ASMÜD, 2006].

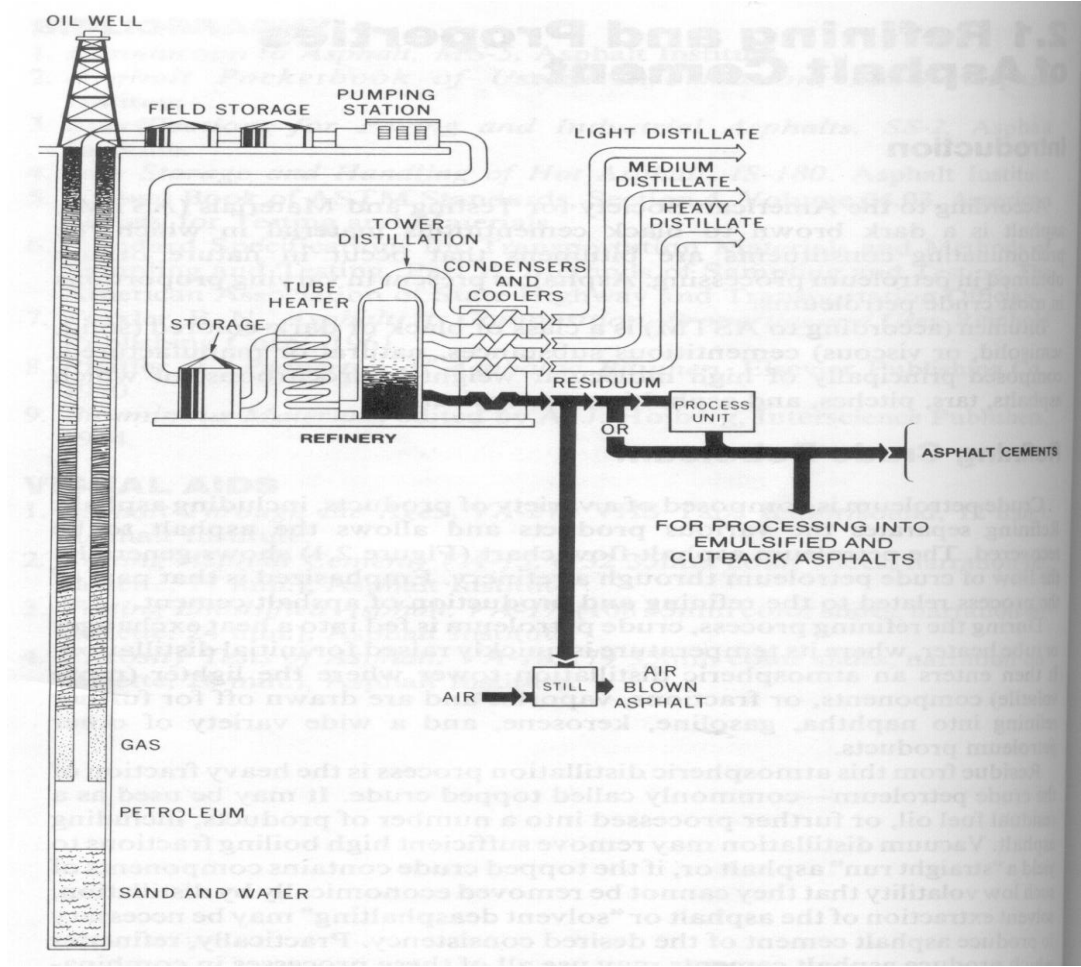
2.3. Asfalt Üretimi İçin Gerekli Olan Bitümün Temini

Ham petrol, moleküler ağırlıkları ve dolayısıyla kaynama noktaları değişen, çeşitli hidrokarbonların kompleks bir karışımıdır. Kullanılmadan önce ayrıştırılması, arındırılması, karıştırılması ve bazen de kimyasal veya fiziksel değişikliğe uğratılması gerekmektedir.

Bitüm ham petrolden elde edilir. Ham petrolün genelde deniz organizmaları ve bitkisel madde kalıntılarının okyanus tabanındaki çamur ve

kaya parçalarıyla karışmasından kaynaklandığı kabul edilmektedir. Milyonlarca yıl boyunca bu organik maddeler ve çamur, yüzlerce metre kalınlığında katmanlar halinde birikmiş ve yukarıdaki katmanların muazzam ağırlığıyla alt katmanlar tortul kayalar haline gelmiştir. Organizma ve bitkisel maddelerin ham petrolün hidrokarbonları haline dönüşmesinin nedeni olarak ise yerkabuğundan gelen sıcaklık, üst tortul tabakaların yaptığı basınç ve muhtemelen de bakteriyel oluşum ve radyoaktif bombardımanın bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Petrolün oluştuğu tortular, tortul kayalar üzerinde birikirken ilave basınçların etkisiyle sıkıştırılan petrol, gözenekli kayaların içerisinden yana ve üste ilerlemiştir. Gözenekli kayaların yeryüzüne doğru uzandığı yerlerde petrol dışarıya sızmış ve daha önce bahsettiğimiz birikintileri oluşturmuştur. Şans eseri, petrol ve gazın büyük bir çoğunluğu gaz ve petrol rezervleri oluşturacak şekilde geçirgen olmayan başka bir kaya altında kalan gözenekli kayalar içerisinde hapsolmuştur. Petrol, sismik yöntemler kullanılarak yeri belirlenen ve etrafındaki geçirgen olmayan kayalar delinerek çıkartılıncaya kadar bu rezervlerde kalmıştır [İSFALT, 2004].

Ham petrol, moleküler ağırlıkları ve dolayısıyla da kaynama noktaları değişen, çeşitli hidrokarbonların kompleks bir karışımıdır. Kullanılmadan önce ayrıştırılması, arındırılması, karıştırılması ve bazen de kimyasal veya fiziksel değişikliğe uğratılması gereklidir. Şekil 2.3.'de bitüm elde edilen rafinerinin şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 2.3. Bitüm elde edilen rafinerinin şematik görünüşü [Hunter, 1994].

Ham petrolün rafine edilmesindeki ilk işlem fraksiyonel damıtmadır. Bu işlem fraksiyonlama veya damıtma kolonları denilen yüksek çelik kulelerde yapılır. Kolonun (çelik kule) içi aralıklarla, içerisinden buharın geçmesine izin verecek şekilde kolonun üzerinde delikler bulunan yatay çelik tepsilere bölünmüştür. Deliklerin üzerinde kabarcık fincanları denen ve buharı aşağıya doğru yönlendirerek tabla üzerinde bulunan yoğunlaşmış sıvının içinden geçmesini sağlayan kubbeler bulunmaktadır. Kubbeler sayesinde damıtma işleminin etkisi artar ve kolon yüksekliği azalır [İSFALT, 2004].

Ham petrol damıtma tesisine girer girmez ve kulenin atmosfer basıncının biraz üzerinde çalışan daha alt kısımlarına geçmeden önce 300°C-350°C arasında ısıtılır. Kolona giren malzeme sıvı ve buhar karışımıdır; sıvı olan kısım ham ürünün daha yüksek kaynama noktasına sahip olan bileşenlerini içerirken buhar olan kısım daha düşük kaynama

noktasına sahip bileşenlerden oluşur. Buhar, kolonun içindeki tablaların delikleri arasından yukarıya doğru çıktıkça ısısını kaybeder. Her bileşen, sıcaklığı kendi kaynama noktasının hemen altına düştüğünde orada bulunan tablada yoğunlaşır ve tekrar sıvı haline dönüşür. Bileşenler tablalar üzerinde yoğunlaştıkça sürekli olarak borular vasıtasıyla boşaltılırlar.

Ham petrolün en hafif bileşenleri buhar olarak kalır ve damıtma kolonunun en tepesinden alınırlar. Daha ağır olan bileşenler kolon dışına yan taraflardan çıkarılırlar ve sıvı olarak kalan en ağır bileşenler sütunun tabanında kalırlar. Ham petrol damıtma işleminde elde edilen en hafif bileşenler normal atmosfer basıncında gaz olarak bulunan propan ve bütandır. Sütundan aşağıya doğru inerken biraz daha ağır bir ürün olan petrol ortaya çıkar. Petrol, benzin üretimi ve kimya endüstrisinde ham madde olarak kullanılmaktadır. Daha sonra özellikle uçak yakıtı olarak ve az miktarda konutlarda yakıt olarak kullanılan gaz yağı elde edilir. Daha sonra yine biraz daha ağır mazot ve dizel motorları ve merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan motorin ortaya çıkar. Ham petrolün damıtılmasından elde edilen en ağır bileşen, yüksek molekül ağırlığına sahip hidrokarbonların karışımıdır ve bunun bitüm imalatı için hammadde olarak kullanılmasından önce başka işlemlerden geçmesi gerekmektedir.

Bu kalıntı (long residue), vakumlu damıtma kolonunda ek bir damıtmaya tabi tutulur. Bu işlem, motorin, damıtma ürünleri ve kalıntı (short residue) üretmek için 350°C – 400°C’de 10 mm ila 100 mm cıva basıncındaki vakum altında yapılır. Eğer bu ikinci damıtma işlemi sıcaklığın artırılmasıyla yapıldıysa, kalıntının (long residue) parçalanması veya termik ayrışmaya uğraması meydana gelebilir.

Kalıntılar (short residues) 20 farklı bitüm cinsinin hammaddesidir. Bu kalıntının viskozitesi hem ham petrolün çıkarıldığı kaynağın hem de işlem sırasında vakum kolonunda uygulanan sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonudur. Ham petrolün kaynağına bağlı olarak kolon içerisindeki koşullar 100 ila 300 penetrasyonlu kısa kalıntı üretmek için ayarlanır [İSFALT, 2004].

Son yıllarda sanayinin her alanında çalışma ortamıyla ilgili sağlık ve güvenlik prosedürleri oluşturulması konusuna artan bir önem verilmeye başlanmıştır. Üretilen bitümün çoğunluğunun kullanıldığı inşaat sektörü de bunu uygulamaktadır.

Yıllar boyunca kazanılan pratik deneyimler ile spesifik arazi çalışmalarından, bitümün düzenli olarak bu maddeyle çalışan işçilere herhangi bir mesleki sağlık riski ve imalatı-uygulaması esnasında bitümle temasta bulunan kişiler üzerinde ise çevresel sağlık sorunu oluşturduğu görülmemiştir. Bu sebeple bitüm, uygulamalarda uygun tedbirler alınması halinde potansiyel tehlike oluşturmaz [İSFALT, 2004]. Hava kirliliğine neden olan bazı kaynaklardan yayılan benza (a) piren emisyonları aşağıda Tablo 2,1'de çeşitli kaynaklardan yayılan benza piren emisyonları verilmiştir.

Tablo 2.1. Çeşitli kaynaklardan yayılan Benza (a) piren emisyonları [Hangebrauck et al, 1967].

Kaynaklar	Benza (a) piren içeriği Havanın $\mu\text{g}/1000\text{ m}^3$'ü
Asfalt Plenti	13
Elektrik santrali, gaz	100
Elektrik santrali, kömür	300
Dizel motor	5,000
Atık yakılması	11,000
Kok fırını uçucu maddeleri	35,000
Konut kazanları, kömür	100,000

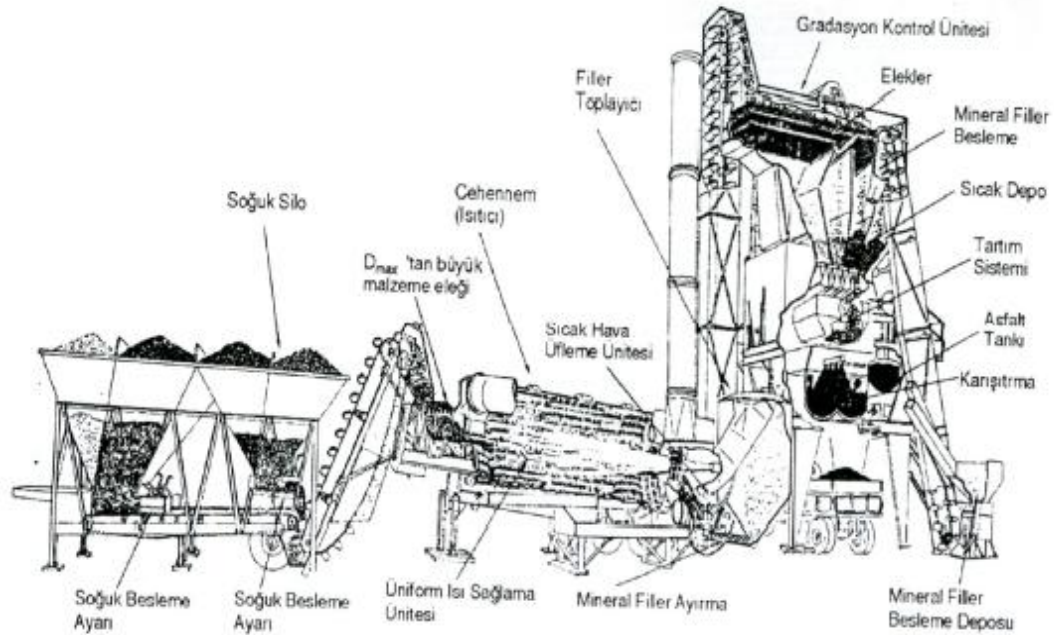
2.4. Sıcak Asfalt Karışımlarının Üretilmesi

Asfalt üretimi yapılırken öncelikle her bir agregaya için ayrı ayrı elek analizleri yapılarak istenilen boyutlara göre hangi miktarlarda agregaya kullanılacağı belirlenmesi gerekmektedir. Kullanılacak asfalt, agregaya ve karışıma ait gerekli deneylerin yapılması sağlanmalıdır. Asfalt üretim tesisinde belirlenen karışım formülü hazırlandıktan sonra sıcak asfalt

karışımların plantte üretilmesine geçilir. Asfalt plantleri çok kompleks ve çok pahalı tesisler olup karışımın kaliteli üretilibilmeleri için her türlü hassas donanımına sahiptir. Günümüzde üç tip asfalt planti mevcuttur:

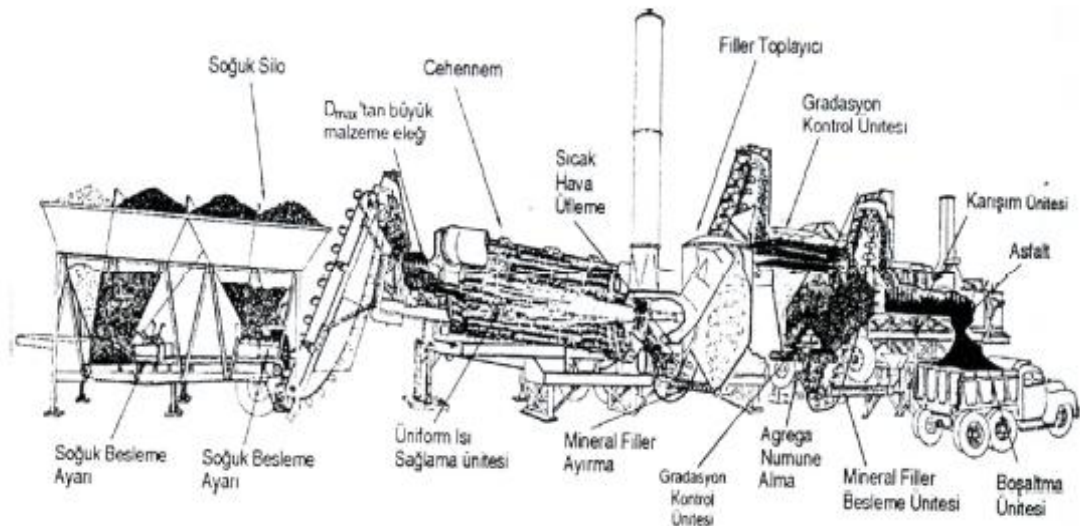
- Harman tipi karışım (Batch-Mix)
- Sürekli tip karışım (Continuous-Mix)
- Kazan tipi karışım (Drum-Mix)

Belirtilen asfalt plantlerinden en hassas ve en iyi sonuç harman tipi plantlerden sağlanır. Agregaların ayrı bir tamburda kurutulduğu ve elenip tartılarak, belirtilen miktardaki bitümle bir harman teşkil edecek şekilde ayrı bir üniteye karıştırılmasına imkan sağlayan plant tipidir. Bu tip plantler, az miktardaki üretimler ve sıkça değişen karışım tipleri için daha uygundur. Bu nedenle yüksek standartlı yollarda ve otoyollarda harman tipi karışım yapan plantler kullanılmaktadır. Harman tip plantlerin genel görünümü Şekil 2.4.'de gösterilmiştir. [İSFALT, 2001].



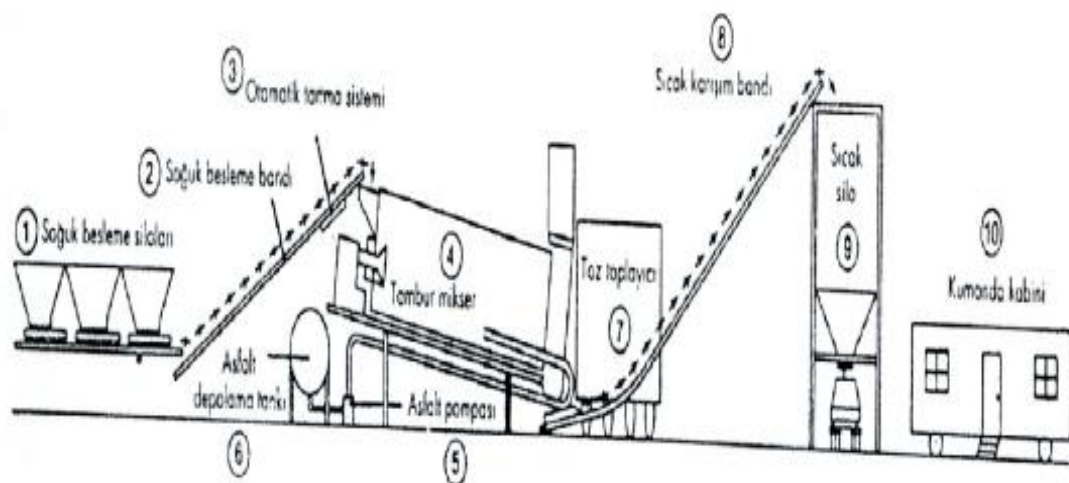
Şekil 2.4. Harman Tipi Asfalt Planti [www.asphaltinstitute.org]

Sürekli tip karışım plentleri açık gradasyonlu karışımlar veya düşük standartlı yollarda kullanılır. Sürekli tip plentlerin genel görünümü Şekil 2.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Sürekli Tip Asfalt Plenti [www.asphaltinstitute.org]

Kazan tipi plantler ise çoğunlukla geri-kazanım işlerinde kullanılmaktadır. Kazan tip plantlerin genel görünümü Şekil 2.6.'de gösterilmiştir.



Asfalt plantleri başlıca altı kısımdan oluşur [İSFALT, 2006]. Bunlar;

- Soğuk agrega besleme
- Cehennem (dryer)
- Sıcak elek ve sıcak agrega besleme
- Asfalt besleme
- Filler besleme
- Mikser

olmaktadır. Asfalt plantlerin otomatik kontrolleri vasıtasıyla istenilen kalitede asfalt karışımlar elde edilebilmektedir. Bunlar Tablo 2.2.' de görülmektedir.

Tablo 2.2. Asfalt Plenti Elemanları ve Fonksiyonları [YASED, 2006].

ELEMAN	OTOMATİK KONTROL	FONKSİYONLAR
SOĞUK AGREGA BESLEME	- Silo kapaklarının ayarı - Bant hızının ayarı	Her bir agrega grubu için miks-dizaynda belirtilen oranlar sağlanmalıdır.
CEHENNEM	- Isıtıcı - Süre ve ısı miktarı	Agregayı istenilen ısıya getirmelidir. Agreganın rutubetine göre ısı ayarlanmalıdır.
SICAK ELEK ve SICAK AGREGA BESLEME	- Tartı sistemi - Kontrol sistemi	Agregayı doğru tartmalıdır. Yeterli sıcak agrega yoksa karışım durmalıdır.
ASFALT BESLEME	- Asfalt tankı ısıtıcısı - Pompa ve debi	Asfaltı uygun ısıda tutmalıdır. Asfaltı doğru miktarda püskürtmelidir
FİLLER BESLEME	- Besleme silosu - Ayar sistemi	Gerekli miktarda filleri karışıma katmalıdır.
MİKSER	- Karıştırma sistemi	Karışım süresi yeterli olmalıdır.
KALİTE KONTROL	- Numune alma tesisler	Sıcak elenmiş agrega ve asfalt deposundan numune alınabilmelidir.
ISI KONTROL	- Isı ölçme cihazları	Sistemin her yerinden ısı ölçülebilmelidir.

Asfalt üretimi esnasında asfalt üreten tesislerin tüm aksamaları son derece önemli olup, gerekli hassasiyette çalışmalıdır. Bu nedenle de sürekli olarak kontrol edilmeli, kalibrasyonları zamanında yapılmış olmalıdır. Bunun

haricinde plentte uyarı sistemleri çalışır vaziyette olmalı ve oluşabilecek bir hatada plent operatörü uyarılmalıdır.

Asfalt plentinden kaliteli karışım elde etmek için aşağıdaki kontrollerin yapılması gerekir.

- Plentteki tüm ölçüm cihazları kalibre edilmiş olmalıdır.
(Agrega ve asfalt tartısı, filler tartısı, ısı göstergeleri, vb.)
- Karıştırıcı, kazan ve paletleri uygun çalışıyor olmalıdır.
(Kazan ısıtıcıları, paletlerin konumu ve sayısı, boşaltma kapağı, vs.)
- Asfalt püskürtme sistemi üniform püskürtme yapmalıdır.
(Memelerin çapı, püskürtme süresi-açısı-basıncı, vb.)
- Karıştırma süresi yeterli olmalıdır.
- Agrega doğru olarak oranlandırılmalı, kurutulmalı ve tüm daneler asfaltla kaplı olmalıdır.
- Asfalt miktarı hassas olarak tartılmalı ve uygun viskosluk için gerekli ısı sağlanmalıdır.

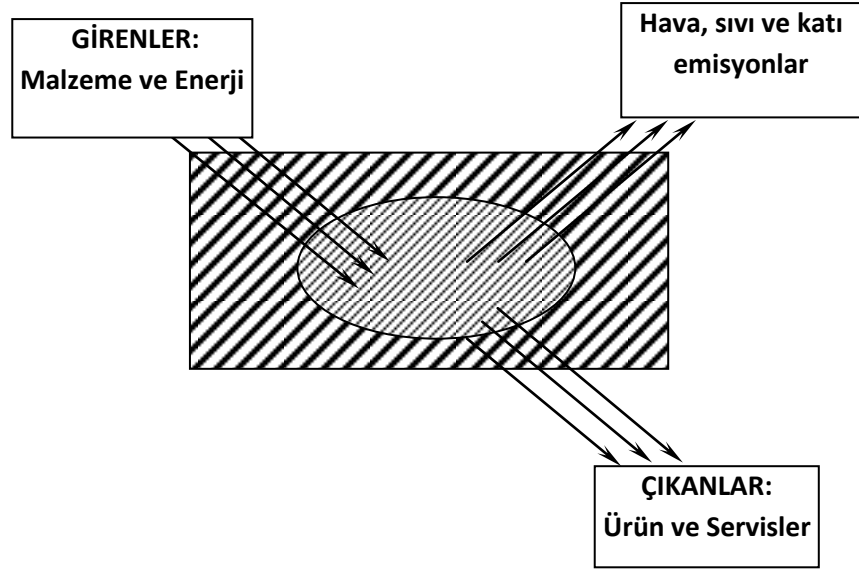
Asfalt plentlerinden kaliteli karışımlar elde edebilmek için yukarıdaki hususlara daima azami ölçülerde dikkat edilmelidir.

3.YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

Bilindiği gibi çevre, canlı ve cansız çevreden oluşmaktadır. Yaşayan tüm organizmaların yaşamları içindeki ilişkilerini kapsayan ortam canlı çevre (insan, hayvan, bitki, mikroorganizmalar), yaşamlarının olduğu ortamların tamamı ise doğal (su, hava, toprak) ve yapma çevre (yapı, yapı ürünleri vb.) olmak üzere cansız çevre olarak tanımlanmaktadır.

Günümüzde çevre ile ilgili konularda toplumsal ilginin artmasıyla beraber proje geliştirme ve uygulama esnasında verilen kararlar önemli bir hal almıştır. Teknolojinin gelişimine yönelik verilen doğru kararlar aşamasında göz önünde bulundurulması gereken başlıklardan biri de çevredir. Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD, Life Cycle Assessment), 1990'lardan bu yana, karar vermeye yönelik kullanılan ve gelişmekte olan yöntemlerden biridir [Sonnemann et al, 2004; Hendrickson et al. 2006; Horne et al. 2009; Özeler ve Demirer, 2000].

Çevresel Yaşam Döngüsü (ÇYD) ilk kez olarak 1990'larda net enerji analizleri ile ortaya çıkmıştır. Bunun yeterli olmaması üzerine daha sonraları su ve hava emisyonları da eklenmiştir. Birleşmiş Milletler (BM) Çevre Programı çevresel yaşam döngüsünü çevresel yükü bulmak için yapılan bir yaklaşım olarak tanımlar ve bu tanımlama da çevresel kaliteyi artırmak için son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir tür çevre sistem analizi olan çevresel yaşam döngüsünün basit şematik görünümü Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çevresel Sistem Analizi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, (YDD) herhangi bir ürünün, proses veya aktivitenin çevresel performansını oluşumundan en son aşamaya kadar (örneğin ham maddenin ekstraksiyonundan son depolamaya kadar geçen dönem) detaylarıyla inceleyen bir teknik olarak tanımlanır [Curran 1996; Sonnemann et al, 2004; Horne et al. 2009]. Bu değerlendirme, ürünün işlenmesinde olduğu kadar enerji dahil olmak üzere hammaddenin üretilmesi, kullanılması ve final bertarafı sırasında havaya, suya ve toprağa olan tüm etkileri içerir. Dolayısıyla YDD, kullanılan hammadde, imalat, dağıtım, kullanım, geri dönüşüm veya atık aşamalarında yani yaşam döngüsündeki tüm aşamalarda girdi ve çıktıların çevresel etkilerinin sistematik olarak değerlendirilmesini sağlayan bir araçtır [Rebitzer et al. 2004].

Yaşam döngüsü analizi, hem doğrudan (üretim aşamasında oluşan emisyonlar ve kullanılan enerji vs.) hem de dolaylı (hammadde eldesi, ürünün dağıtılması, tüketici tarafından kullanılması ve bertarafı vs.) etkileri belirlemek ve ölçmek için kullanılabilir [Bishop,2000]. Böylelikle bir ürünün ya da hizmetin tüm yaşam döngüsünü düşünerek, hem çevresel etkiler kısmen önlenebilir, hem de bu etkiler analiz edilmiş olur. Döngünün hangi aşamasının (ham maddelerin üretiminde ya da bertaraf) çevreye en fazla zararı verildiği görülür. Dolayısıyla üreticilerin tasarımdan bertarafa kadar

ürünlerinden kaynaklanan kirliliğin sorumluluğunu almaları sağlanabilir. Bu sebeple, en faydalı olan çevresel performansı maksimize edecek şekilde spesifik organizasyon aktiviteleri belirlenebilir ve ayarlanabilir. YDD böylece üreticiye, “ürünün eldesi ve satışı” ile biter geleneksel düşüncesine yeni bir bakış açısı getirir.

3.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Tarihçesi

Hızlı nüfus artışı ve endüstrileşme ile birlikte insanların doğaya verdikleri zararlar da artmaya başlamıştır. Dolayısıyla sürdürülebilir bir üretim ile sürdürülebilir bir kalkınmanın olmayacağı açıktır. Günümüzde artık yeşil endüstri kavramı artık ekonomik kalkınma ile birlikte ekolojik dengenin korunmasını bir arada sağlayan bir yaklaşım olarak kabul görmektedir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin tarihçesine bakıldığında, ürünlerin ve malzemelerin yaşam döngülerinin ele alınmasına ait ilk çalışmalar 1960’ların sonuna olmuştur. Bu çalışmalar daha çok enerjinin etkin kullanımı, hammaddenin tüketimi ve atıkların elden çıkarılması konuları üzerinde durulmuştur. Örneğin 1969 yılında bir içecek şirketinin yapmış olduğu bir YDD çalışmasında, farklı içecek kutuları karşılaştırılarak, hangisinin çevreye ve doğal kaynaklara daha az zarar verdiğinin bulunması amaçlamıştır [Sonnemann et al, 2004; Hendrickson et al. 2006; Horne et al. 2009]. [Jensen ve ark, 1997].

LCA metodolojisini geliştirme çabaları 1970’lerde Amerika Birleşik Devletlerinde başladı. Çok yakın geçmişte, Kuzey Amerika Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (SETAC) ve Amerika Birleşik Devletleri Çevresel Koruma Ajansı (USEPA), Yaşam döngüsü envanter analizi ve etkili değerlendirmesini idare etmek için, bir iskelet üzerindeki uzlaşma geliştirmek ve desteklemek için tasarlanmış çalışmalara ve diğer projelere destek olmuşlardır. Benzer çabalar Uluslararası Standartlar Organizasyonu – ISO tarafından da üstlenilmiştir. Bu çabalar sonucunda, kapsamlı LCA iskeleti ve iyi tanımlanmış envanter metodolojisinde ortaya konmuştur [Sonnemann et al, 2004; Hendrickson et al. 2006; Horne et al. 2009].

1970'lerde gerçekleşen petrol krizinden sonra YDD endüstride enerji akışını izlemek ve yakıtın yaşam döngüsünü analiz etmek için projelerde kullanılmıştır. 1972 yılında, İngiltere'de Ian Boustead cam, plastik, çelik ve alüminyumdan oluşan çeşitli içecek kutularının üretiminde kullanılan toplam enerjiyi hesap etmiştir. Sonra çeşitli malzemelerde kullanılmak üzere Boustead bu yöntemi geliştirerek yayınlamıştır [Bozkurt, 2007; Jensen ve ark., 1997]. 1975'lerde ABD ve İngiltere'de yaşanan petrol krizi enerjiye yönelik çalışmaların yapıldığı komisyonların oluşmasını sağlamıştır. Katı atıklar ve geri dönüşüm konuları ise 1980'lerde önemli olmaya ve gelişmeye başlamıştır. 1988 yılında, katı atıkların dünya çapında bir konu olmasıyla YDD yöntemi yine çevresel problemlerin analizinde ortaya çıkan bir araç olmuştur. Hammaddeyi ve çevrenin gelişimini ilgilendiren tüm alanlarda YDD yöntemi yeniden geliştirilmiştir [Taygun, 2005].

1990 yılı ile birlikte YDD yönteminin standartları geliştirilmiştir. İlk kez olarak 1990'larda net enerji analizleri ile ortaya çıkan, bunun yeterli olmaması üzerine daha sonraları su ve hava emisyonları da eklenen bu çalışmalar ile, 1990'da Kimya ve Çevresel Toksikoloji Birliği (SETAC, Society for Environment Toxicology and Chemistry), 1996'da da Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO), YDD için bir metodoloji geliştirmiştir. Yaşam Döngüsü Envanteri, Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme ve Yaşam Döngüsü Gelişme Analizi'nden oluşan ana hatları belirgin bir şekilde ortaya konulmuştur.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (Life Cycle Assessment (LCA)), "beşikten mezara analiz (Cradle-to-grave analysis)", "yaşam döngüsü analizi (Life-Cycle Analysis)", "ekolojik dengeleme (Eco-balancing)", "yaşam döngüsü envanteri (Life Cycle Inventory (LCI))", "Materyal akış analizi (Material Flow Analysis)" gibi değişik başlıklar altında da anılabilmektedir.

3.2.YDD'nin Yapısı ve Standardizasyonu

Uluslararası Standart Organizasyonu (ISO), hem endüstriyelmiş hem de gelişmiş ülkelerdeki ulusal kuruluşları içeren, amacı geniş bir yelpazedeki ürün ve etkinliklerin standartlaşmasını hedefleyen dünya çapında özel bir organizasyondur. ISO çalışmaları 1994 yılında başlamış ve YDD standartlarının ilk ve tam olarak serisinin oluşturulması bu çalışma ile hedeflenmiştir. Bunlardan 14000 serisi YDD ile ilişkili birçok standardı (14040 serisi) ve çevre yönetim sistemi üzerine olan 14001 standardını içermektedir [Sonnemann et al, 2004; ISO 14040, 2006]. Türkiye'de de 2007 yılında TS EN 14040-14044 adı altında eş standartlar yayınlanmıştır [TS EN ISO 14040-14044, 2007].

ISO, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi üzerine ISO 14040 serisini yayımlamıştır. Bu çalışma kapsamında ülkemizde, EN ISO 14040:1997 'den çevrilerek 1998'den itibaren "Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensip ve Çerçeve" adıyla TS EN ISO 14040 ile 14043 arasında tanımlanmıştır. ISO 14040 standartları serisi Tablo 3.1.'de gösterilmektedir.

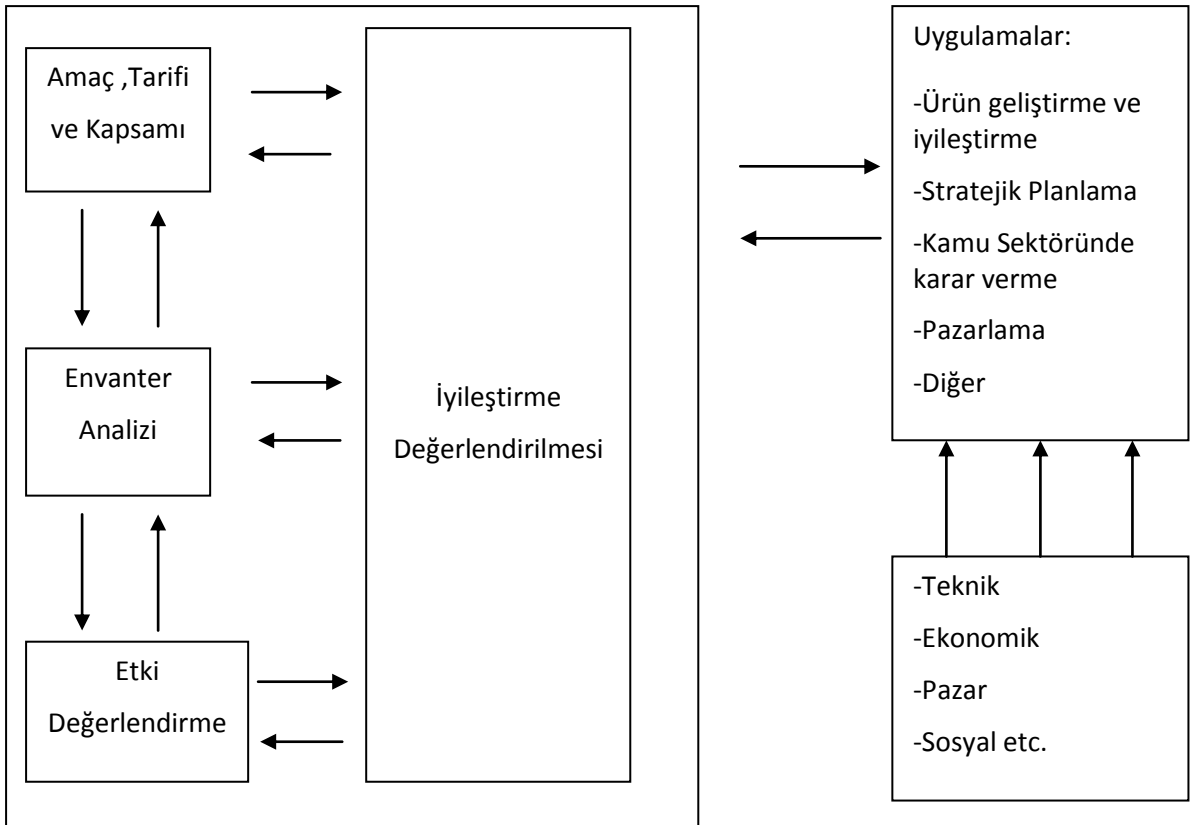
Tablo 3.1. ISO 14040 Standartları Serisi

ISO 14040 STANDARDLARI SERİSİ	
ISO 14040 (2006)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensip ve Çerçeve
ISO 14040 (1998)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensip ve Çerçeve (Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO/DIS 14041(1998)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Amaç ve Kapsam Tanımı ve Envanter Analizi (Haziran2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14042 (2000)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Etki Değerlendirmesi (Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14043 (2000)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Yorumu (Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14044 (2006)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Gereksinimler ve Kılavuzlar
ISO 14047 (2003)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Etki Değerlendirme - ISO 14042 Uygulama Örnekleri
ISO/TS 14048 (2002)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Veri Belgeleme Biçimi
ISO 14049 (2003)	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Etki Değerlendirme - ISO 14041 Amaç ve Kapsam Tanımı ve Envanter Analizi Uygulama Örnekleri

3.2.1. ISO 14040 Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme - Prensipler ve Çerçeve

ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemleri'nde kullanılan "Hayat Boyu Değerlendirme" kavramını; "Bir mal ve hizmet sisteminde belirli bir malzeme ve enerjiden elde edilen mal ve hizmetlerle bu sistemin hayat döneminde ortaya çıkan ve doğrudan doğruya sisteme atfedilebilen çevre etkilerine ait bilgilerin toplanması ve gözden geçirilmesiyle ilgili bir usuller dizisi" olarak tanımlamaktadır [ISO 14040, 2006].

ISO 14040'a göre YDD birbiriyle ilgili dört ayrı bölümden oluşmaktadır. Her bölüm kendinden bir önceki bölümü izlemekte ve gerektiği durumlarda çalışılan bölümde yapılan eklemeler ve revizyonlar yapılabilmektedir. Bu aşamalar basitçe tek sıra halinde takip edilmez, yinelemeli bir şekilde tekrar tekrar ele alınarak, giderek artan seviyelerde detaya ulaşılır veya son etapdaki duruma göre ilk aşamanın değiştirilmesini gerektirir.



Şekil 3.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Çerçevesi [ISO 14040]

ISO 14040 standardında amaç, öncelikle yaşam döngüsü değerlendirmesi hakkında bir ön bilgi vermektir. Bu standart, kullanıcılar ve sonuçlardan etkilenen taraflar için, YDD'nin uygulamalarını ve sınırlarını net bir şekilde ortaya koyar. Bu standartta ayrıca YDD çalışmasında bulunması gereken envanter analizi, etki değerlendirmesi ve yorum aşamaları için genel bir çerçeve oluşturulmuş, daha sonra devam edecek standartlara hazırlık yapılmış ve bir YDD çalışmasının sonuçlarının nasıl verilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur [ISO 14044, 2006].

1. Hedef tanımlamalar; çalışmanın amacı, hedefi ve fonksiyonel tanımlamalar belirlenir.
2. Envanter Analizi; birincil kaynaklar, çıkan emisyonlar ve atıklar tanımlanır. Yaşam döngüsü veri çözümlemesi: iş-akış şemasından yararlanılarak çıkan salınımlar ve kullanılan ham maddeler tanımlanır. Listeleme tanımlandıktan sonra bunların potansiyel çevre ve sağlık problemleri tanımlanmalı ve bunların sınıfları yapılmalıdır. Örnek olarak, hava kirleticilerden sera etkisi yapanları bir gruba toplanması verilebilir.
3. Değerlendirme; tüm çevresel etkiler değerlendirilir, çevresel yük bulunur (Yaşam döngüsü yorumu; benzer işlemi yapan diğer proseslerle karşılaştırılır).
4. Geliştirme analizi; çevresel yaşam döngüsü sonunda üretim ve ürün sistemlerinin değiştirilmesi değerlendirilir.

3.2.2. ISO 14044 Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme-Gerekler ve Kılavuz

Bu standart ISO 14040'a ilave olarak, YDD'nin amaç ve kapsam tarifinin derlenmesi ve hazırlanması ile yaşam döngüsü analizlerinin yapılması, yorumlanması ve rapor edilmesi için gerekli işlemleri ve şartları kapsar [ISO 14044, 2006]. Standartta tanımlamalardan sonra **hedef ve kapsam aşaması** yer almaktadır. YDD'nin ilk bileşeni olan bu aşamada, çalışmanın yapılma

nedeninin, sonuçların kullanılacağı alanların ve ilgili tarafların açıkça ortaya konulması gerektiği üzerinde durulmaktadır.

3.2.2.1. Amaç ve Kapsam Tanımı

Amaç, planlanan uygulamayı açık bir şekilde ifade etmeli, çalışmanın yapılmasının nedenlerini ve kimin tarafından sonuçların kullanılacağını içermelidir. Bu aşamada, tasarlanan uygulama, çalışmanın gerçekleştirilme sebepleri ve hedef kitle (çalışmanın sonuçlarının kime iletileceği), net bir şekilde ifade edilmelidir. YDD'nin amacı, farklı ürünleri karşılaştırmak, mevcut ürünün geliştirilmesini sağlamak, yeni ürün tasarımına yardımcı olmak veya ürün etiketleme ölçütlerinin bir parçası olmak gibi çeşitli uygulamalar içerebilir. Çalışma boyunca bulguların sonuçlarına göre amaç yeniden tanımlanabilmektedir.

YDD kapsamının tanımı, sistemin neyi içereceğini ve hangi ayrıntılı değerlendirme yönteminin kullanılacağına ilişkin olarak değerlendirmeye sınır koymaktır. Amaç tanımı, çalışma kapsamının seviyesini belirler. Kapsam tanımlanırken sistemin işlevleri, işlevsel birimi, sistem sınırları, varsayımlar, veri gereksinimleri ve sınırlar, düşünülmelidir. Kapsam, çalışmanın hedefini desteklemelidir. Kapsam tanımında bulunurken aynı zamanda sistemin fonksiyonu, fonksiyonel birim, ayırma prosedürleri, kullanılacak etki analizi yöntemi, veri kalitesi gereksinimleri de verilmelidir. Çalışmanın kapsamı; çalışmanın uygun genişlik, derinlik ve detayda olması ve başlangıçta belirlenen hedefe ulaşılabilmesi açısından iyi bir şekilde tanımlanmalıdır. İlave bilgi gelmesi gibi durumlarda, çalışmanın kapsamı modifiye edilmelidir. Kapsam belirlenirken bazı varsayımlar yapılabilir. Hizmet ömrü, bakım yöntemleri ve atık işleme gibi bazı fonksiyonel prosesler ile ilgili varsayımlar belirlenmelidir.

Sistemin Sınırları, bu aşamada belirlenmekte ve çalışmanın kapsamı ortaya konulmaktadır. Sistemin sınırları, prosesleri/işlemleri (üretim, nakliye ve atık yönetim prosesleri v.b.) ve YDD'de ele alınacak olan girdi ve çıktıları tanımlar. Sistemin sınırları ile ilgili diğer bir önemli konu da ürünün hangi

çevresel etkilerinin analiz edileceğidir. Çalışma kapsamında ele alınan çevresel etki kategorileri de belirlenmektedir [ISO 14044, 2006].

Veri Kalitesi, bir YDD çalışmasında oldukça önemlidir ve sonuçları doğrudan etkilediği için veri seçimine dikkat edilmesi gerekir. Çalışmalarda amaç ve kapsam tanımına bağlı olarak verilerin toplanmasında kesinlik, bütünlük, temsil edilebilirlik, tutarlılık, tekrarlanabilirlik ölçütlerinin dikkate alınması veri kalitesinin artmasına katkıda bulunabilir. Örneğin; veri toplamaya başlamadan önce verinin geçerliliği açısından kapsadığı yıllar, temsil ettiği coğrafya, temsil ettiği teknoloji, verinin temsil ettiği üretim grubu ve ayırma prosedürleri gibi veri kalitesini belirleyen unsurlar saptanmalıdır.

Bir YDD çalışmasında ürünün/sistemin çevresel yüklerinin belirlenmesi, ürünler arasında karşılaştırma yapılabilmesi için öncelikle **fonksiyonel birim**'in tanımlanması gereklidir. İşlevsel birim, amaç ve kapsam tanımlı aşamasında belirlenmelidir ve aynı zamanda ölçülebilir olmalıdır. ISO 14040 standardında *işlevsel birim*, yaşam döngü değerlendirilmesi çalışmasında örnek bir birim olarak kullanılan ürün sisteminin nicelendirilmiş performansı olarak tanımlanmaktadır [ISO 14040, 2006]. İşlevsel birim, farklı ürünün bir ürünlerin karşılaştırma yapabilmek için bir ölçek olması açısından önemlidir. Bir sonraki aşama olan veri çözümlemedeki toplanan girdi ve çıktı verileriyle ilişkili olmak üzere referans sağlayacaktır. Bu nedenle açık bir şekilde tanımlanmalı ve ölçülebilir olmalıdır. Bu birimler; m^2 , m^3 , kg , L vb. olabilir. Örneğin, sıvılar için aynı hacim (örn:1 L), katılar için ise aynı gramaj (ör:1 Kg) fonksiyonel birime örnek olarak verilebilir. Bazen de birim üretim veya aktivite başına kullanılan ünite olarak da kullanılabilir (ton/m³ boya; kg/m² döşeme gibi..). Asfalt tiplerinin karşılaştırılması için yapılan bu çalışmada fonksiyonel birim olarak ağırlık birimi olan **"ton"** kullanılacaktır. Tablo 3.2.'de çeşitli aktivite ve prosesler için fonksiyonel birim örnekleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Örnek fonksiyonel birimler [Sonnemann et al, 2004]

Ürün/aktivite türü	Sistem fonksiyonu	Fonksiyonel Birim
Eşya/ürün kullanım	Aydınlatma Çamaşır Yıkama	kwh/gün 5 kg yıkanmış çamaşır
Proses	Petrol üretimi Atıksu arıtım	m ³ ürün/saat Ton KOI "uzaklaştırılmış"/gün
Taşıma	Ürün taşıma Yolcu transferi	100kg taşıma/km Kişi km

Birim işlem bir ürünün/sistemin yaşam döngüsünde yer alan, kendine ait girdi ve çıktıları olan aşamaların her birini temsil eder. **Veri kategorileri/sınıfları** ise YDD'nin tanımına uygun olarak toplanması gereken, hammadde, enerji, yan ürün, nakliye ve çevresel emisyonlara ait bilgilerdir.

Referans akış, fonksiyonel birimin fonksiyonu olarak ifade edilen ve verilen bir ürün sistemindeki işlemlerden elde edilmesi gereken çıktıların miktarıdır [ISO 14044 2006]. Standartta **referans akış** fonksiyonel birim başına, sistemde kullanılan girdiler ve sistemden çıkan çıktılar olarak tanımlanır. Sistemler arasındaki karşılaştırmalar, aynı fonksiyon için, aynı fonksiyonel birim tarafından, eşit referans akis baz alınarak yapılmalıdır. Bir ton asfalt için referans akış çalışmanın diğer bölümünde detaylıca gösterilecektir.

3.2.2.2. Yaşam Döngü Envanter Analizi

Envanter Analizi, oluşturabilmek için verinin toplanması gerekir. Envanter Analizi, söz konusu ürün veya aktivitenin yaşam döngüsü boyunca kullanılan girdiler (hammadde, su, enerji vb.) ile kullanım sonrası oluşan çıktıların (emisyon, yan ürün, atık vb.) ortaya koyulduğu kısımdır [ISO 14044, 2006]. İstenilen veriye her zaman gerçek uygulamalardan ulaşılamayabilir, bu durumda veri kalitesi gereksinimleri kullanılarak literatürden, daha önce yapılan çalışmalardan, yazılımların veri tabanlarından, ticari olarak bulunan envanter veri tabanlarından yararlanılabilir. Elde edilen yüklü miktarda verinin

işlenmesi için çoğu zaman Envanter Analizi için tasarlanmış özel yazılımlar (GaBi, SimaPro vb.) kullanılabilir.

Veriler kullanılırken, veri kalitesi göstergelerine de dikkat edilmelidir. Veri kalitesi göstergeleri toplanan verinin;

- kesinlik (aynı ürüne ait fakat, farklı tesislerden toplanan verinin değişkenliğinin ölçülmesi)
- bütünlük (bir verinin tüm kullanıldığı yerlerde aynı olması)
- temsil edilebilirlik (toplanan verilerin, başlangıçta öngörülen veri kalite gereksinimlerine ne derece uyduğunun belirlenmesi)
- uygunluk/tutarlılık (yöntemin, çalışmanın tüm aşamalarına ne derece uygulandığının değerlendirilmesi)
- tekrarlanabilirlik

açısından bir değerlendirmesi olup, ilk iki gösterge nicel, diğerleri ise nitel ifadelerden oluşmaktadır.

Bu standartta yer alan hedef ve kapsam aşamasının son bölümü olan **kritik gözden geçirme** işlemi ise, çalışmanın hedefine göre kurum içi denetimlerle veya standartları oluşturan kurumlar olarak konunun uzmanları tarafından yapılabilir. malıdır. Bu işlemin amacı, çalışmanın standartlara göre yapılıp yapılmadığının tespit edilmesi, bilimsel ve teknik kalitesinin belirlenmesi, hedef, veri toplama ve çalışma sonuçlarının incelenmesidir.

Bu standartta yer alan **envanter analizi** bölümündeyse, veri toplamak için hazırlanma (veri toplama formlarının oluşturulması), veri toplama işlemi (kayıtların tutulması, gizlilik prosedürlerine uyulması, ayırma (tahsisat) prosedürleri gibi), hesaplama yöntemleri (basit LCA'lar için elle yapılabilir fakat yanlışlıklardan kaçınmak için detaylı LCA'larda bu amaçla geliştirilmiş yazılımların kullanılmasında yarar vardır), toplanan verilerin fonksiyonel birimle ilişkilendirilerek referans akışlarını oluşturulması üzerinde durulmaktadır [ISO 14044, 2006].

3.2.2.3. Yaşam Boyu Etki Değerlendirilmesi

Yaşam döngüsü değerlendirmesinin üçüncü aşaması olan bu bölümde, elde edilen verilerin değerlendirilmesine ilişkin esaslar bulunmaktadır. Envanter Analizi sonucu oluşturulan verilerin kullanılması sonucunda ürünün amaç ve kapsam tanımı bölümünde tanımlanan çevresel etki kategorileri (iklim değişikliği, asidifikasyon, ötrofikasyon, kanserojen etki vb.) göre etkilerinin belirlendiği ve tartışıldığı bölümdür. Bu bölüm, kategori tanımı, sınırlandırma, karakterizasyon ve değerlendirme gibi dört ana konu içerir[ISO 14044, 2006; Sonneman et al., 2004]. Bu bölümde ürünün/hizmetin yaşam döngüsünün hangi aşamalarında ne tür çevresel etkilere yol açıldığı açık bir şekilde ortaya koyulmaktadır.

Bu standardın tanımlar bölümünde **etki kategorisi** tanımı, ürünün/sistemin etkilediği çevresel alanları belirtmektedir (örn: iklim değişikliği, ozon tabakasının tahribatı, ötrofikasyon, asidifikasyon, kanserojen etkiler, radyasyon gibi). Bu kategori göstergelerine örnek olarak; iklim değişikliği göstergesi, KIP (Küresel Isınma Potansiyeli) eşdeğeri olan kg CO₂ ile verilir ve bir maddenin bu etkiye katkısı kg CO₂ /kg madde olarak hesaplanır. Yine aynı şekilde stratosferik ozon azalması, Oksijen Azalma Potansiyeli eşdeğeri olarak kg CFC-11 olarak verilir ve bir maddenin bu etkiye katkısı kg CFC-11/kg madde olarak hesaplanır

Sınıflandırma aşamasında çoğunlukla göz önüne alınan kategoriler şunlardır;

- Küresel ısınma,
- Asitleşme,
- Besin birikiminden kaynaklanan aşırı bitki büyümesi ve bundan kaynaklanan oksijen azalması,
- Canlı ve cansız doğal kaynakların kullanımı,
- Ekotoksik etkiler,
- İnsanlar üzerinde toksik etkiler,
- İş ortamının durumu,
- Alan kullanımıdır.

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi üçüncü aşama olarak envanter verisinin karakterizasyonunu yapılmasıdır. Karakterizasyon, kategorileri göstergeler şeklinde modeller ve envanter girdi ve çıktı verilerinin bu kategori içinde toplanmasını sağlar.

Yasam döngüsü etki değerlendirmesi dördüncü aşama olarak etki kategorilerinin birbirleriyle karşılıklı olarak, ağırlıklı değerlendirilmelerini içerir. Bunun amacı, farklı yasam döngüsü etki kategorilerini, önem sırasına göre sıralamak ve gruplandırmaktır.

3.2.2.4. Yaşam Boyu Yorumu

Son kısım olan yorumlama bölümünde söz konusu ürünün/hizmetin çevresel etkileri değerlendirilmektedir. Yasam döngüsü değerlendirmesi yorumu, bir sistemin envanter analizi veya etki değerlendirmesi sonuçlarından elde edilen bilgiyi nitelendirmek, kontrol etmek ve değerlendirmek ve hedef ve kapsam bölümünde belirtildiği gibi sunmaya yönelik sistematik bir prosedürdür. Yapılan etki analizinden bulunan sonuçların, bütünlük, hassasiyet ve uygunluk açısından kontrolünün yapılmasında, yorumlanmasında, bu sonuçlara dayalı önerilerin sunulmasında ve raporun hazırlanmasında uyulması gerekli hususları bu bölümde açıklanmalıdır. Bu çalışmalar, ürünün/hizmetin yaşam döngüsü boyunca neden olduğu en önemli çevresel etkiler bu bölümde ele alınarak özellikle hangi süreçlerin bu etkileri doğurduğu ortaya çıkartılmaktadır. Dolayısıyla, gerçekleştirilen çıkarımlar sonucunda ürünün yaşam döngüsü göz önüne alındığında hangi safhada (hammadde temini, üretim, kullanım vb.) gerçekleştirilecek iyileştirmeler ile çevresel performansın ne şekilde iyileştirilebileceği ortaya konabilecektir [ISO 14044, 2006].

Yorum, yasam döngüsünün diğer üç aşaması arasında gerçekleştirilir.

Envanter analizlerinden ve etki değerlendirmesinden bulunanlar, hedef ve kapsam tanımında belirtilenleri ile karşılaştırılır, uygun değilse envanter analizi sistem sınırları gözden geçirilerek geliştirilme işlemi yapılmalıdır.

Bu tekrarlayıcı proses, hedef ve kapsam aşamasında belirtilen gereksinimler, aşağıda hususlar karşılanıncaya kadar tekrarlanmalıdır:

1. Önemli çevresel konuların belirlenmesi,
2. Bütünsellik, hassasiyet ve tutarlılık açısından metodolojinin ve sonuçların değerlendirilmesi,
3. Sonuçların hedef ve kapsam tanımındaki gereksinimlerle uyumluluğunun kontrolü,

Eğer bu gereksinimler sağlanmamışsa tekrar başa dönmeli ve bu işlem 3.basamak sağlanıncaya kadar tekrarlanmalıdır.

3.3.YDD Üzerinde Çalışan Kuruluşlar

YDD'nin daha anlaşılabilir, etkin ve her geçen gün yapılan değişikliklere uyum sağlaması gerekmekte olup bunlar için bazı kuruluşların sürekli yaptıkları çalışmaları mevcuttur. Bu kuruluşlar aşağıda verilmiştir.

3.3.1. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)

1970'li yıllarda çevresel konular ile ilgilenen çevre bilimciler, biyolog, kimyager, toksikologlar yanı sıra yöneticiler ve mühendisler ile disiplinler arası iletişimi sağlamak ve bu boşluğu doldurmak için çalışmalar yapılmış olup 1979 yılında Kuzey Amerika'da kurulmuştur. SETAC 1990 yılında kurulan Pensacola, Florida, ABD ve Brüksel ile 2003 yılında kurulan Belçika ofisi olmak üzere idari ofisleri mevcuttur.

Çevre sorunlarının çözümü, diğer profesyoneller ile bilgi alışverişi, fikir, doğal kaynaklar, araştırma ve geliştirme ve çevre eğitiminin yönetimi ve düzenlenmesi ile multidisipliner yaklaşım ile akademi, iş ve devlet arasında üçlü denge kurmak SETAC'ın kurucu ilkeleridir. Kar amacı gütmeyen dünya çapında profesyonel bir kurum olan SETAC'ın amacı; sürdürülebilir çevre kalitesinin ve eko sistemin bütünlüğünü korumak, geliştirmek ve yönetmek

için ilkelerin ve uygulamaların gelişmesini desteklemektir. 1990 yılında düzenlenen SETAC toplantısında YDD'nin genel prensiplerinin ve kılavuzlarının geliştirilmesine başlanmıştır. Bu gelişme işlemi "SETAC Code of Practice [SETAC,1993]" adı altında sonuçlanmıştır. Bu, YDD'nin teknik çerçevesinin ilk defa uluslararası kabul gördüğü YDD'nin uyumlaştırılmasına doğru önemli bir aşamadır [Guinee, 2002; www.setac.org].

3.3.2. ISO (The International Organization for Standardization)

ISO (International Organization for Standardization), Uluslararası Standartlar Örgütü, geniş bir yelpazedeki ürün ve etkinliklerin standartlaşmasını hedefleyen standartların belirlenmesi çalışmalarını yürütmek gayesiyle 1946'da Cenevre'de kurulan uluslararası özel bir organizasyondur [www.iso.org]. YDD, ISO'nun da çalışma konusu içinde yer almaktadır. ISO çalışmaları 1994 yılında başlamış ve YDD standartlarının ilk ve tam olarak serisinin oluşturulması bu çalışma ile hedeflenmiştir. Bunlardan 14000 serisi YDD ile ilişkili birçok standardı (14040 serisi) ve çevre yönetim sistemi üzerine olan 14001 standardını içermektedir. Teknolojik ihtiyaçlardan dolayı ISO standartları, her beş yılda bir gözden geçirilir ve gerekli değişiklikler yapılır [www.iso.org].

3.3.3. UNEP (United Nations Environment Development)

YDD alanında önemli rol oynayan üçüncü uluslararası kuruluş, Merkezi Nairobi, Kenya'da olan Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)'tir. UNEP'in ayrıca altı bölge ofisi ve çok sayıda ülke ofisi vardır. Bu örgütün Amacı, Birleşmiş Milletlerde çevre konusunun eşgüdümünü, çevrenin durumunun küresel düzeyde sürekli gözden geçirilmesini, çevre sorunları hakkında uluslararası toplumun dikkatinin çekilmesini ve uluslararası ve ulusal çevre politikasının ve hukukunun gelişiminin sağlanmasını amaçlamaktadır [www.unep.org].

UNEP, kısmen gelişmiş ülkelerdeki YDD uygulamaları üzerine çoğunlukla odaklanmaktadır. UNEP'in önemli bir katkısı 1996 yılında

kullanıcıların YDD'yi kolay okuması için bir rehber olan "Life Cycle Assessment: What it is, and what to do about it" başlıklı yayınıdır [Guinee, 2002]. UNEP ve SETAC şu anda daha büyük ve yeni bir görev olan Yaşam Döngüsü İnisiyatifi için işbirliği yapmaktadırlar. UNEP/SETAC Yaşam Döngüsü İnisiyatifinin amacı, ürün ve hizmetlerin tüm yaşam döngüsü boyunca olanaklarının ve risklerinin değerlendirilmesi için gerekli pratik araçların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasıdır [Bozkurt, 2007].

3.4.YDD'nin Uygulama Alanları ve Kullanıcıları

YDD'nin uygulandığı alanlar uluslararası standart ISO 14040'da tanımlanmakta olup, dört ana başlık altında toplanmaktadır. Buna göre YDD [ISO 14040, 2006; Paulsen, 2001];

- Kamuya yaşam döngüsünde çeşitli noktalarda ürünlerin çevresel yönlerini geliştirmek için olasılıkları belirlemede,
- Stratejik planlama, öncelik belirleme, ürün ve hizmetlerin tasarımı ve mevcut tasarımların yenilenmesi konularında kamuda ve özel sektörde karar verilmesinde,
- Ölçüm tekniklerini de içerecek şekilde çevresel performans göstergeleriyle ilgili kamu politikası oluşturulmasında,
- Pazarlamada (örnek çevresel ürün beyanları ve çevre etiketi) kullanılmaktadır.

Nebel ise YDD'nin uygulama alanlarını yedi maddede ele almış olup, YDD sonuçlarının aşağıdaki belirtilen çeşitli uygulamaları desteklemek için kullanıldığını belirtmektedir [Nebel, 2006]:

- Ürün tasarımı ve ürün geliştirme,
- Kamuya yasa çıkartma,
- Pazarlama,
- Stratejik planlama,
- Ürün zincir yönetimi,

- Karşılaştırma,
- Etiketleme ve ürün beyanları için kullanım.

YDD uygulamaları ve sonuçları ile ilgilenebilecek çeşitli kullanıcı grupları; firmalar, ticari birlikler, kamu kuruluşları, çevreciler ve tüketici kuruluşları gibi diğer kamu dışı kuruluşlar olabilir [Finnveden et al., 2009] :

- Sanayide; stratejik planlama, ürün tasarımı veya bunların yenilenmesi ve geliştirilmesi
- Kamu Sektöründe; idari düzenlemeler, araştırma projeleri ve kalkınma finansmanı gibi konularda karar verme
- Bir ürünün ekolojik yönüyle ilgili bir etiketlendirme programının hazırlanması olabilmektedir.

YDD'nin sonuçlarından yararlanılarak hazırlanan çevresel ürün beyanları ve çevre etiketleri ürünlerin çevresel özellikleri hakkında bilgiler sunmaktadır.

3.4.1. Çevresel Ürün Beyanları (Environmental Product Declaration-EPD)

Gelişen çevre duyarlı eğilimlerle birlikte üreticiler ürünlerini “Çevre dostu ürün”, “eko-ürün” şeklinde tanımlamaya başlamışlardır. Çevresel ürün beyanları, ürün veya sistemin çevresel performansını ifade etmek için kullanılan gönüllü, sertifikalı, standartlaşmış ve YDD'ye dayanan bir araçtır. Çevresel ürün beyanının amacı, ürünlerin çevresel performanslarıyla ilişkili olarak geçerli, doğru ve karşılaştırılabilir bilginin farklı tüketici ve piyasa ihtiyaçlarını karşılamak için sağlanmasıdır.

Çevresel Ürün Beyanları (EPD), bir ürünün veya sistemin çevresel etki değerlendirmesinin iletişimini sağlayan ve ISO 14025/TR Type III çevre beyanları temeline dayanan bir araçtır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) prensiplerini temel alan bu beyan yöntemi ilgili şirketler ve kuruluşlar için tüm dünya çapında geçerlidir. ISO 14040 serisi standartlara dayanarak

bir ürünün belirli çevre etkilerini ölçüldüğü bir etiketleme olarak tanımlanır. Çevresel etiketler ve beyanlar bir ürün veya ürün grubu için yaşam döngüsü değerlendirme yöntemini esas alarak, nicel çevresel veriler sağlamaktadır. Beyanların hedefi TS EN ISO 14020'de şu şekilde açıklanmaktadır [TSE, 2002].

“Amaç, bir ürün veya hizmetin çevre boyutu hakkında, yanıltıcı olmayan, doğru ve ispatlanabilir bilgiler verilmesi yoluyla, çevre üzerinde daha az olumsuz etkiye sahip ürün ve hizmetlere talebin artırılması ve bu ürünlerin arzının teşvik edilmesi gibi piyasa güçlerinin zorlaması ile sürekli bir çevresel gelişme potansiyelini sağlamaktır”.

Çevresel ürün beyanlarında:

- Üretici, ithalatçı, toptancı ve şirket ya da organizasyonca yürütülen çevresel işler,
- Üretim süresi ve hizmet etkinlikleri,
- Ürünün içeriği,
- Malzeme ve enerji akışı için envanter verileri,
- Olası çevresel etkiler,
- Hizmet, bakım ve geri dönüşüm,
- Belgelendirme süreci, hakkında bilgiler içermektedir [Şentürk, 2008].

Bir ürünün çevresel etkileri ile ilgili bilgilerin verilmesi, kullanıcıların ürünü seçerken, ürüne ait diğer ölçütlerin yanında bu bilgilere göre de değerlendirme yapabilmesini sağlayacaktır. Bu şekilde çevresel beyana sahip olan ürünler arasında doğru bir karşılaştırmanın yapılabilmesi mümkün olacak ve ürünün özellikleri bir rekabet unsuru haline gelebilecektir. Ayrıca çevresel ürün beyanı ile ilgili bilgiler yeni ürünlerin eko tasarımında ve var olanların geliştirilmesinde etkilidir [Polychroni, 2007].

3.4.2. AB Eko - Etiket (Eco-label)

Avrupa Birliği (AB) ÷lkelerinde çeşitli çevre etiketlerinin hazırlanması ve yaygınlaştırılması üzerine, bütün üye ÷lkeler için geçerli olacak AB çevre etiketi geliştirilmesi çalışmaları başlatılmış; AB Eko-Etiketi kurulmuştur. AB Eko-Etiketi, Avrupa Komisyonu tarafından 2008 yılında kabul edilen daha geniş Sürdürülebilir Tüketim-Üretim, Sanayi Politikası eylem planının bir parçasıdır. Avrupa tarafından bilinen ve çiçek sembolü ile ifade edilen Avrupa Birliği Eko-Etiketi, çevreye olan zararlı etkileri düşük, ürün ve hizmetlerde kullanılabilen bir etikettir. Gönüllülük esasına dayanan ve tüketicilerin çevre dostu ürünlere yönelmesini öngören bu sistemin ÷lkemizde uygulanmasının başlaması ile birlikte üreticiler açısından da Avrupa Birliği Eko-Etiketli ürünler için teşvik ve uluslararası pazarlara girebilmede avantaj oluşturacaktır.

Düzenlemeye göre bir çevre etiketi; aynı ürün grubu içinde belirli ekolojik ölçütlere uyan ürünlere verilebilir. Ölçütler, düzenlemenin oluşturduğu prosedüre göre ürün grupları tarafından, YDD yönteminin kullanımı ile bir ürünün yaşamındaki tüm farklı süreçleri ilgilendiren tüm çevresel etkiler göz önünde bulundurularak belirlenir. Aynı ürün grubu içinde, farklı ürünlerin oluşmuş ve olası çevresel etkilerini sistematik bir yolla karşılaştırmanın da amaçlandığı YDD, çevre etiketinin tasarlanmasında ve ekolojik ölçütlerin belirlenmesinde bilimsel bir temel oluşturmaktadır [Taygun, 2005]. Çevre etiketinin amaçları; çevrenin korunması, çevresel yeniliklerin desteklenmesi, yapı kullanıcılarının çevresel konularda bilincinin artırılması olarak sıralanabilir. Etiket özellikleri ise güvenilir olması, anlaşılır olması, seçici olması, güncel olması, çoklu ölçüt ile yaklaşımı ile çalışması, Avrupa boyutlarına sahip olması ve zorunlu bir uygulama olmamasıdır [Taygun, 2005].

YDD'nin yukarıda tanımlanan geniş çaplı uygulama seçenekleri YDD sonuçlarını kullanabilecek endüstri veya diğer ticari girişimler, idari ve düzenleyici kuruluşlar, tüketici kuruluşlar ve çevresel gruplar, gibi birçok kullanıcının var olduğunu göstermektedir [Nebel, 2006].

4. MATERİYAL VE METOT

4.1. Çalışma Yapılan Tesis

Bu çalışma, 1991 yılında kurulan 90 ton/saat kapasiteye sahip kazan (drum) tipi asfalt üretim tesisinde yapılmıştır. Tesis İstanbul Anadolu Yakası sınırlarında olup, 2010 yılında detaylı bakımı ve revizyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma yapılan asfalt üretim tesisine ait genel görünüm Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Asfalt Tesisinin Genel Görünüm

Tesis, girişte gelen malzemelerin tartımının yapıldığı elektronik kantar, agregaların stoklandığı bir stok sahası ile stok sahasındaki malzemelerin tiplerine göre ayrıldığı bunkerler, bitüm tankları ile malzemelerin karıştırıldığı mekanik kısım ve karıştırılmış malzemenin depolanıp kamyonlara yüklendiği bir silodan oluşmaktadır. Siloya ait genel görünüm Şekil 4.3.'de verilmiştir. Tesis içerisinde yaklaşık 600 ton kapasiteye sahip izolasyonlu ve doğalgaz yardımı ile sürekli sıcak halde tutulan bitüm tankı mevcuttur.

Tesis bünyesinde üretim bilgisayar programı tarafından kontrol edilmekte olup, günlük üretimi planlanan (miktar ve asfalt tipi) miktarlar bilgisayar programı ile plant operatörüne bildirilmekte ve üretim sağlanmaktadır. Üretime gönderilen her bir asfalt tipine ait TS EN ISO 12687 standartlarına uygun ve akredite kuruluşlarda gerekli testlerden geçirilmiş ve üretimi uygun reçeteler kullanılmaktadır. Bu testlerden başlıcaları;

- Penetrasyon Deneyi
- Düktilite Deneyi
- Yumuşama noktası deneyi
- Vizkozite deneyi
- Parlama noktası deneyi
- Özgül ağırlık deneyidir.

Asfalt üretiminin ağırlıkça en büyük kısmını oluşturan agregalar, Kocaeli ili Gebze ilçe sınırları içerisinde bulunan taş ocaklarından sağlanmaktadır. Taş ocakları ile asfalt üretim tesisi arasında yaklaşık 35 km mesafe bulunmaktadır. Taş ocaklarından kamyonlar yardımı ile asfalt üretim tesisine getirilen gelen taş tozu, 1 nolu agregası, 2 nolu agregası ve 3 nolu agregası stok alanında cinslerine göre depolanmaktadır. Tesiste her agregası cinsine göre bunkerler bulunmakta olup malzemenin azalması halinde loderler yardımı ile taşıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Üretimi gerçekleştirilecek olan asfalt dizaynına göre kullanılacak agregası miktarı plant bilgisayar sistemine yüklendikten sonra her bunkerin altında bulunan hidrolik kapaklar açılarak istenilen asfalt tipine göre uygun miktarda agregası konveyör bantlar yardımı ile kurutucu (dryer) bölümüne taşınmaktadır. Kurutucu (dryer) ünitesi agreganın nemini azaltmak üzere tasarlanmış olup mevcut hava sıcaklığı göz önüne alınarak dönen bir tamburda ısı verilerek kurutma işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 4.2. Asfalt Tesisinin Genel Görünüm

Kurutucu ünitesinden çıkan malzeme diğer bir karıştırma haznesine alınır, bu bölümde karıştırma haznesine taş tozundan daha ince boyutlu fakat aynı cins (dolomit) malzeme olan filler ile bitüm reçetesinde belirtilen miktar kadar eklenir. Hava sıcaklığı ve malzemenin yapısına göre 15-45 saniye civarında karıştırılarak asfalt oluşturulur. Oluşan asfalt bir otomatik taşıyıcı vasıtası ile taşıma kamyonlarına boşaltılacak olan siloya aktarılır. Buradan kamyonlara yüklenen asfalt kantarda tartım işleminden sonra serim yapılan yere gönderilir.



Şekil 4.3. Üretilen Asfaltın Depolandığı ve Kamyonlara Nakledildiği Silo

4.2.Asfalt Üretimindeki Hammadde ve Enerji Kullanımı

Çevresel yaşam döngüsünün sınırları, bu çalışmada sadece üretim ile sınırlandırılmıştır. Dolayısıyla bu sistem içindeki tüm hammadde ve enerji girdilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile yukarıda genel özellikleri verilen asfalt üretim tesisinde günümüzde en yaygın olarak kullanılan Tip-1, Tip-5 ve binder tipi asfalt üretiminin yaşam döngü analizleri ortaya konulacaktır. Bu çalışma sonunda, üretim sonrası açığa çıkan CO₂ (fosil, biyojenik, arazi dönüşümü ve alımı) miktarları, asfalt türlerinin her birinin yaratmış olduğu abiyotik etki, asidifikasyon etkisi, ötrofikasyon etkisi, küresel ısınma etkisi, ozon tabakasının incelmeyeine olan etkisi, insan toksisitesine etkisi, tatlı su ekosistemine etkisi, deniz suyu ekosistemine etkisi, karasal ekotoksisite etkisi, fotokimyasal oksidasyon etkileri belirlenerek hangi asfalt tipinin çevresel etkilerinin en az olduğu, hangi proses ve malzemenin en fazla çevresel etki yarattığı ile hangi tip asfalt kullanılmasının özendirilmesi ile ilgili bir değerlendirme elde edilecektir.

Her bir asfalt türü için öncelikle asfaltı oluşturan malzemeler ve bu malzemelerin miktarlarının belirlenmesi önemlidir. Tip-1, Tip-5 ve binder tiplerine ait asfalt içerikleri Tablo 4.1'de verilmiş olup üretimde kullanılan miktarlar ise 4.3.2.1. Veri Toplama bölümünde verilecektir.

Tablo 4.1. Üretimi yapılan farklı asfalt türlerinin içeriği

	Malzeme
Tip-1	Taş Tozu 0-5 mm
	1 No Agregası 5-12 mm
	2 No Agregası 12-19 mm
	Filler
	Bitüm 50/70
Tip-5	Taş Tozu 0-5 mm
	1 No Agregası 5-12 mm
	2 No Agregası 12-19 mm
	Filler
	Bitüm 50/70
Binder	Taş Tozu 0-5 mm
	1 No Agregası 5-12 mm
	2 No Agregası 12-19 mm
	3 No Agregası
	Filler
	Bitüm 50/70

Asfalt üretiminde kullanılan malzeme ve kullanılan enerji miktarlarını belirledikten sonra SimaPro programı CML 2 baseline 2000 yöntemi kullanılarak YDD analizi aşamasına geçilir.

4.3. Yaşam Döngü Değerlendirmesi Analiz Çalışmaları

Bu çalışmada PRè Consultans adlı Hollanda firmasına ait lisanslı SimaPro 7.2. bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Belirtilen yazılım dışında pek çok farklı firmaya ait yazılımlarda mevcut olup, kullandıkları veri tabanları, etki değerlendirme yöntemleri ve ISO 14040 standartlarına uygunluklarına göre çeşitli farklılıklar göstermektedirler. SimaPro yazılımı günümüzde LCA çalışmalarında Dünya'da en çok kullanılan programdır.

SimaPro 7.2. içerik bakımından; hedef ve kapsam (Goal and scope), envanter (Inventory), etki değerlendirme (Impact assesment) ve yorumdan (Interpretation) oluşan ISO 14040 aşamalarına ilaveten, kullanıma dayalı aşamalar (sihirbaz, veri kalitesi gereksinimleri, birimler, maddeler vb.) da içermektedir.

Hedef ve kapsam aşaması, raporlama açısından pek çok verinin girilmesini gerektirmektedir. Bu aşamada ayrıca envanterden seçilecek olan verinin çalışmaya uygunluğunun belirlenebilmesi için gereken veri kalitesi gereksinimleri (zaman, coğrafi kapsam, temsil edilen teknoloji vb. gibi) de bulunmaktadır.

Envanter aşamasında ise, veriler içeren pek çok sayıda proje ve veri bankası vardır. Hedef ve kapsam aşamasında belirtilen gereksinimler doğrultusunda, veri bankalarında bulunan verilerden en uygun olanı seçilir, ürün kümesi, yaşam döngüsü ve atık/bertaraf senaryoları oluşturulur.

Etki değerlendirme aşamasında ise matematiksel hesaplamalara dayanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden de uygun olan seçilerek oluşturulmuş olan yaşam döngüleri analiz edilir veya ürün/sistem/yaşam döngüsü için karşılaştırma yapılır. SimaPro 7.2.

yazılımında sistemlerin envanter analizlerinin hesaplanması için bir çok hesaplama metodu bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında geniş çapta kullanılmasının yanı sıra içerdiği etki gruplarının Çevre Mühendisliği alanındaki çalışma konularına daha yakın olması nedeniyle CML 2 baseline 2000 metodu hesaplama yöntemi olarak seçilmiştir.

Bu metotta envanter analizinden gelen verilerin CML 2 baseline 2000 etki değerlendirmesinde; karakterizasyon (characterisation) ve normalizasyon (normalisation) bölümleri içermektedir. ISO 14042'de belirtildiği üzere sınıflandırma ve karakterizasyon, LCA çalışmalarında bulunması zorunlu bölümlerdir.

SimaPro yazılımı kullanılarak CML 2 baseline 2000 metodu ile yapılan çalışmada ortaya çıkan etki değerlendirmeleri ile ilgili genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Abiyotik kaynakların tükenmesi (abiotic depletion)
- Asidifikasyon (acidification)
- Ötrofikasyon (eutrophication)
- Küresel ısınma (global warming)
- Ozon tabakası tükenmesi (ozone layer depletion)
- İnsanlar üzerine olan toksik etki (human toxicity)
- Tatlı su ekosistemine olan etki toksik etki (fresh water aquatic ecotoxicity)
- Deniz ekosistemine olan toksik etki (marine aquatic ecotoxicity)
- Karasal ekotoksikite (terrestrial ecotoxicity)
- Fotokimyasal oksidasyon (photochemical oxidation)

4.3.1.Hedef ve Kapsam Tanımı

4.3.1.1.Hedef

Bu çalışmada asfalt üretim tesislerinde üretilen farklı asfalt tiplerinin üretimi ele alınmıştır. Bu bağlamda bir asfalt firması ile görüşmeler yapılarak tesislerinde üretilen asfalt tipleri ile ilgili bilgiler elde edilmiş, elde edilen veriler ile SimaPro 7.2. yazılımı bünyesindeki veri tabanları ile tesisten elde verilen veriler birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler ile üç farklı asfalt tipine ait yaşam döngüsü proses ağaçları oluşturulmuş, etki analizler yapılmış ve son aşama olarak yaşam döngülerinin karşılaştırılmasıyla, çevreye en az zararlı asfalt tipinin belirlenmesine çalışılmıştır.

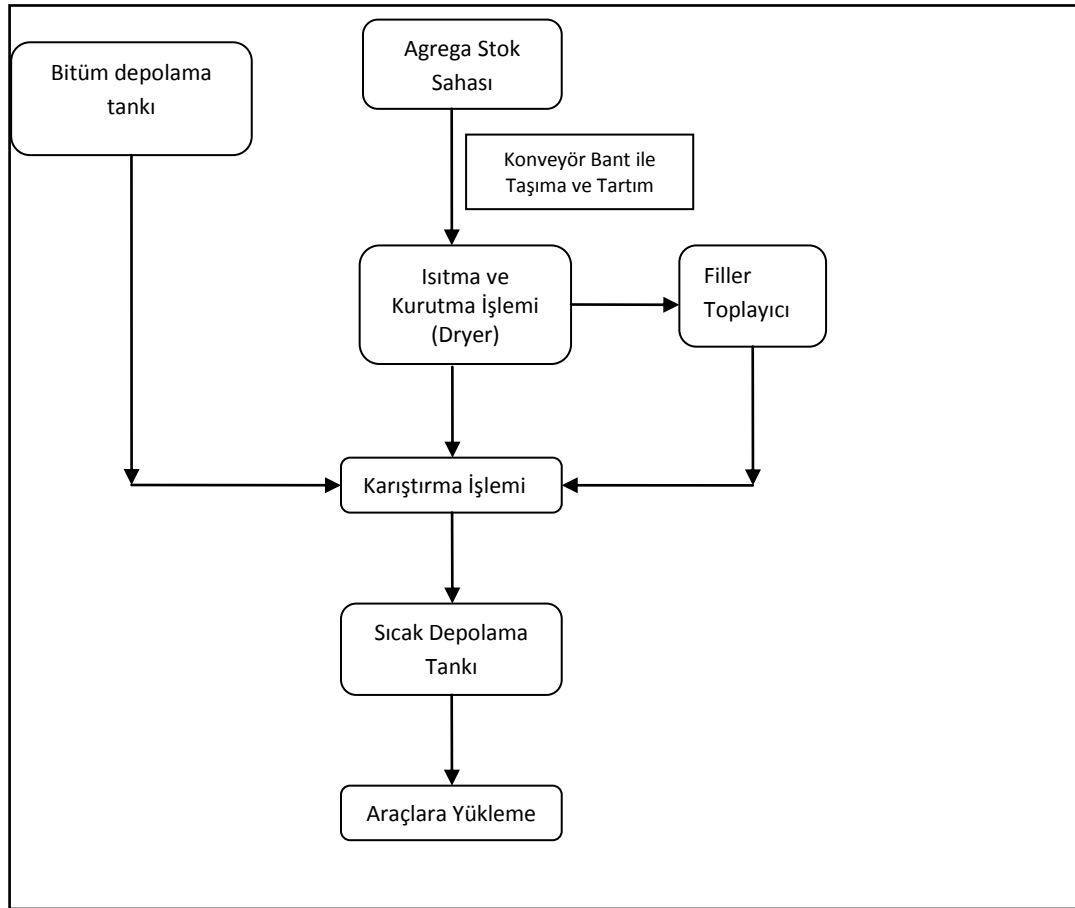
4.3.1.2. Kapsam

a) Fonksiyonel birim: Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak "ton" asfalt seçilmiştir.

b) Sistem Sınırları: Bu çalışmada asfaltın;

- İçeriğini oluşturan agregaların taş ocaklarında belirli boyutlara küçültülmesi sırasında kullanılan kırıcının elektrik sarfiyatı,
- Agreganın bunkerlerden konveyör bantlar yardımı ile taşınımı, ısıtma ve kurutma işlemi, karıştırma işlemi, filler toplayıcının çalışması ve asfaltın sıcak depolama tankına gönderilmesi sırasında kullanılan toplam elektrik sarfiyatı,
- Bitüm depolama tanklarının sıcak tutulması nedeniyle kullanılan doğalgaz sarfiyatını kapsayan bir yaşam döngüsü sınırında karşılaştırılmışlardır.

Yukarıdaki sistem sınırları içerisinde oluşturulan asfalta ait üretim şeması Şekil.4.4.'de verilmiştir.



Şekil 4.4. LCA çalışması yapılan asfalta ait üretim akım şeması

4.3.2. Envanter Analizi

4.3.2.1. Veri Toplama

Asfalt üretiminde kullanılan hammadde ve enerji girdileri asfalt üretici firmadan, hammaddeye ve enerjiye ilişkin çok kapsamlı arka plan veriler ise programa ait veri tabanından alınmıştır.

a) Tip-1 Asfalta ait veriler

Tip-1 asfalt üretiminde kullanılan malzemelere ait veriler Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Tip-1 Asfalt üretiminde kullanılan malzeme miktarları

Malzeme	Miktar
Taş Tozu 0-5 mm	320 kg
1 No Agregası 5-12 mm	480 kg
2 No Agregası 12-19 mm	110 kg
Filler	50 kg
Bitüm 50/70	45 kg

b) Tip-5 Asfalta ait veriler

Tip-5 asfalt üretiminde kullanılan malzemelere ait veriler Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Tip-5 Asfalt üretiminde kullanılan malzeme miktarları

Malzeme	Miktar
Taş Tozu 0-5 mm	900 kg
1 No Agregası 5-12 mm	-
2 No Agregası 12-19 mm	-
Filler	50 kg
Bitüm 50/70	60 kg

c) Binder Asfalta ait veriler

Binder tip asfalt üretiminde kullanılan malzemelere ait veriler Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Tip-5 Asfalt üretiminde kullanılan malzeme miktarları

Malzeme	Miktar
Taş Tozu 0-5 mm	320 kg
1 No Agregası 5-12 mm	200 kg
2 No Agregası 12-19 mm	110 kg
3 No Agregası	250 kg
Filler	60 kg
Bitüm 50/70	42 kg

d) Ortak Veriler

Yukarıda asfalt üretimi gerçekleştiren firmadan alınan, her üç asfalt tipini üretmek için kullanılan malzeme miktarları verilmiştir. Bunlara ek olarak üç asfalt tipi için ortak olarak, tesis içerisindeki bitüm tankını sürekli sıcak tutmak için kullanılan doğalgaz miktarı da yaklaşık $90 \text{ m}^3/\text{ton}$ 'dur. Programda veri girişi yapılırken harcanan enerjinin miktarının da bilinmesi gerektiğinden 1 m^3 doğalgazın ısı değeri de 37.36 Mj olduğundan $90 \times 37,36 = 3362,4 \text{ Mj}$ olarak kullanılacaktır.

Ayrıca asfalt üretimi sırasında son aşama olan bütün malzemelerin 15-45 saniye aralığında karışımlarının bölümün elektrik tüketimi de yaklaşık 2 kwh/ton dur

Ayrıca taş ocağındaki malzemelerin farklı boyutlardaki agregalara dönüştürülmesi için kullanılan kırıcıya ait elektrik sarfiyatları da Tablo 4.5.' de verilmiştir.

Tablo 4.5. Agregada üretiminde kullanılan kırıcıya ait elektrik sarfiyatı

Agrega Tipi	Elektrik Sarfiyatı
1 Nolu Agregada	0.3 kwh/ton
1 Nolu Agregada	0.2 kwh/ton
1 Nolu Agregada	0.4 kwh/ton
Taş Tozu	0.5 kwh/ton
Filler	0.1 kwh/ton

4.3.2.2. Varsayımlar

Bu çalışmada herhangi bir varsayımda bulunulmamıştır. Her türlü veri asfalt üretimi yapılan tesisten bilgisayar ortamında alınmıştır.

4.3.2.3. Hesaplama Yöntemi

Bu çalışmada elde edilen bütün veriler çalışma yapılan asfalt türlerinin fonksiyonel birim seçilen 1 tona denk gelen ağırlıkları başına hesaplanarak bilgisayar yazılımında kullanılmıştır.

4.3.3. Etki Analizi

Bu çalışmada SimaPro programı içerisinde bulunan veri tabanlarından CML 2 baseline 2000 hesaplama yöntemi kullanılmış olup bu yöntem, 2001 yılında Leiden Üniversitesi Çevre Bilim Merkezi önderliğinde bir grup bilim adamı etki kategorileri ve etki değerlendirmesi adımı için bir dizi karakterizasyon yöntemleri önermiştir. Bu yöntem "sorun odaklı yaklaşım" ve "zarar yaklaşımı" olarak ikiye ayrılmıştır. Bu yöntemde tanımlanan etki kategorileri grupları;

- Abiyotik tükenme
- Asidifikasyon
- Ötrofikasyon
- Küresel ısınma
- Ozon tabakası tahribatı
- İnsan toksisitesi
- Tatlı su ekotoksisitesi
- Deniz suyu ekotoksisitesi
- Karasal ekotoksisitesi
- Fotokimyasal oksidasyondur.

Çalışmada ayrıca üretimi yapılan her bir asfalt tipi için CO₂ kaynakları ve miktarları da belirlenecektir. CO₂ ile ilgili hesaplama işlemi de SimaPro programı içerisinde bulunan Greenhouse Gas Protocol (GHG) yöntemi ile hesaplanacaktır.

Bu yöntemin kullanılmasıyla yapılan karşılaştırma işleminde yukarıda verilen etki grupları ile ilgili etki analiz değerlendirmeleri Bulgular ve Tartışma (Bölüm 5) kısmında verilmiştir.

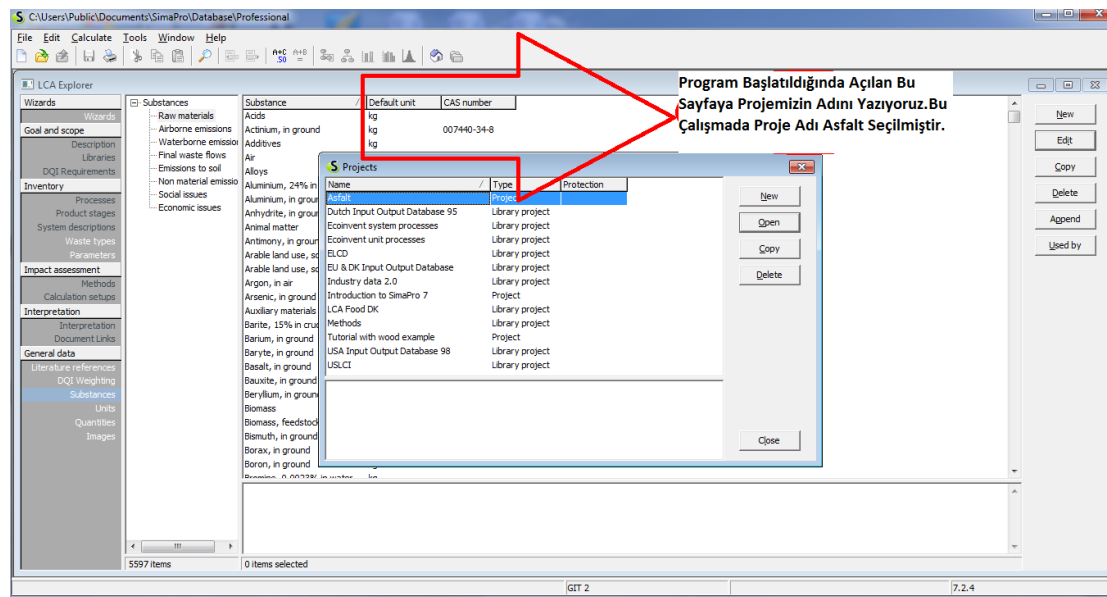
4.3.4. Yorum

Bu çalışmada yorum aşaması, etki analizinden bulunanların bir değerlendirmesi olduğundan, yine Bölüm 5'de verilmiştir.

4.4. SimaPro Yazılımı ile Asfalt YDD

Çalışmanın bu bölümünde, çevresel etkilerini belirleyecek olduğumuz üç asfalt tipine ait verilerin SimaPro programına girişlerinin yapılarak hesaplanması ve sonuçlarının oluşturulması bölümü anlatılacaktır.

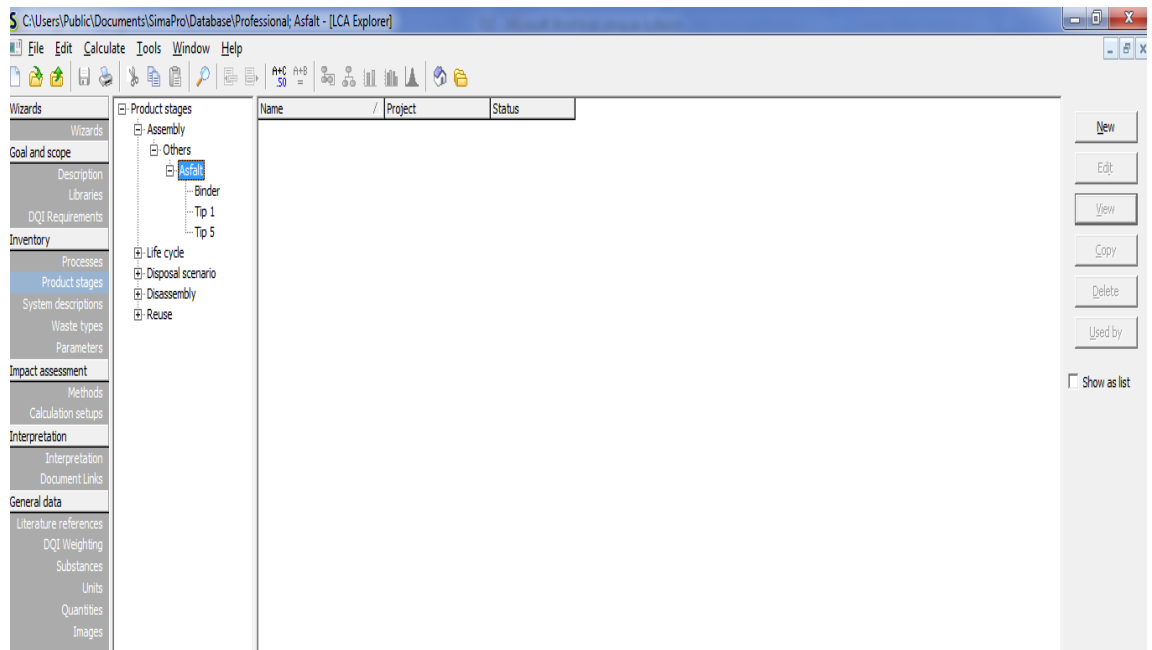
Öncelikle program açılır, açılan ilk ekran proje ekranı olup buraya yapılmak istenen projenin adı yazılarak kaydedilir. Projemizin adı asfalt olarak belirlenmiştir. Şekil 4.5.'de oluşturulan projenin adının girişinin yapıldığı program ekranında bir görünüm verilmiştir.



Şekil 4.5. Oluşturulan projeye ekranına ait görünüm [SimaPro 7.2.]

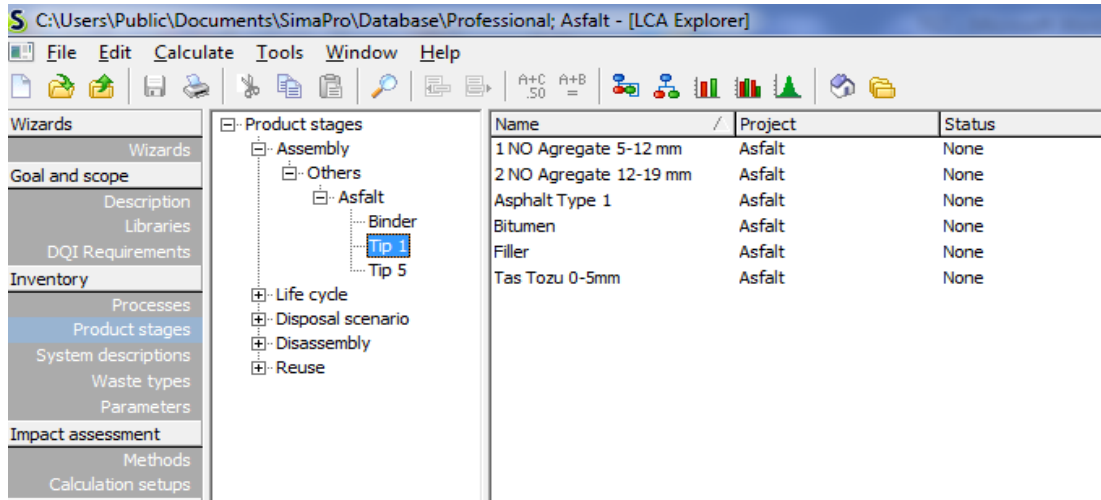
Kaydedilen proje adına (asfalt) giriş yapılır. Açılan proje ekranının solunda bulunan, ürün aşamaları (product stages) kısmına giriş yapılır. Ürün aşamaları başlığı altında beş farklı satır bulunmaktadır. Bunlar; Assembly (birleştirme), Life Cycle (yaşam döngüsü), Disposal Scenario (bertaraf

senaryoları), Disassembly (ayırma) ve Reuse (yeniden kullanım) dur. Bu çalışmada assembly başlığı altında bulunan others seçeneğinin altında açılmış olan asfalt başlığını açıyoruz ve asfalt başlığı seçili iken yeni diyerek yapacağımız çalışmalarda kullanacağımız Tip-1, Tip-5 ve Binder asfalt tiplerine ait başlıkları oluşturarak kayıt edilir. Şekil 4.6.'da başlıkların oluşturulduğu sayfa ile ilgili görünüm verilmiştir.



Şekil 4.6. Karşılaştırılacak asfalt tiplerinin oluşturulduğu ekrana ait görünüm
[SimaPro 7.2.]

Devamında asfalt seçeneği altında oluşturduğumuz üç asfalt tipinin önceki bölümlerde verilmiş üretim miktarlarına uygun şekilde içeriklerini oluşturulur. Örneğin, Tip-1 asfalt üretimi gerçekleştirilirken Tip-1 başlığı seçili iken yeni diyerek Şekil 4.7.'de gösterilen yeni bir sayfa açılmaktadır.



Şekil 4.7. Tip-1 asfalt içeriği program ekranı [SimaPro 7.2.]

Açılan bu sayfada isim başlığı altında kısma Tip-1 asfalt üretimi içerisinde kullanılan malzemeleri oluşturuyoruz. 1 nolu agregayı oluşturmaya başlamak için açılan sayfada mouse sağ tıklanarak yeni bir sayfa açılır ve açılan sayfadaki isim kısmına 1 nolu agregaya yazılır. Aynı sayfanın materials/assemblies kısmına tesiste kullandığımız agreganın veritabanında olan adı Dolomit seçilerek eklenir. Devamında agreganın taş ocağında bulunan kırıcılar yardımı ile 1 nolu agregaya boyutuna düşürülmesi için taş ocağından alınan ve ton başına kullanılan elektrik miktarını da Processes kısmına girerek kaydedilir. Dolomit miktarı ile harcanan elektrik enerjisi miktarlarını da birimlerine uygun şekilde aynı ekrana girişlerini yapılır ve 1 nolu agregayı programda da oluşturulmuş olunur. Şekil 4.8.' de 1 nolu agreganın oluşturulduğu programa ekranına ait bir görünüm verilmiştir.

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional; Asphalt - [Edit assembly '1 NO Agregate 5-12 mm']

File Edit Calculate Tools Window Help

Input/output Parameters

Name: 1 NO Agregate 5-12 mm Image:  Comment:

Status: None

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Dolomite, at plant/RER U	480	kg	Undefined			
(Insert line here)						

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Electricity, medium voltage, at grid/TR U	0,3	kWh	Undefined			???
(Insert line here)						

Şekil 4.8. 1 nolu agreganın oluşturulduğu program ekranından bir görünüm
[SimaPro 7.2.]

1 nolu agregada programda oluşturulduktan sonra aynı şekilde aynı şekilde Tip-1 asfalt içerisinde bulunan 2 nolu agregada, bitüm ve taş tozunu da aynı sayfa içerisinde yukarıda anlatıldığı gibi oluşturulur. Tip-1 asfalt üretiminde kullanılan malzemelerin oluşturulduğu program ekran görüntüsü Şekil 4.9.'da verilmiştir.

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional; Asphalt - [Edit assembly 'Asphalt Type 1']

File Edit Calculate Tools Window Help

Input/output Parameters

Name: Asphalt Type. 1 Image:  Comment:

Status: None

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
2 NO Agregate 12-19 mm	1	p	Undefined			
1 NO Agregate 5-12 mm	1	p	Undefined			
Taş Tozu 0-5mm	1	p	Undefined			
Bitumen	1	p	Undefined			
Filler	1	p	Undefined			
(Insert line here)						

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Electricity, medium voltage, at grid/TR U	2	kWh	Undefined			
(Insert line here)						

Şekil 4.9. Programda oluşturulan Tip-1 asfalt içeriği ekran görüntüsü
[SimaPro 7.2.]

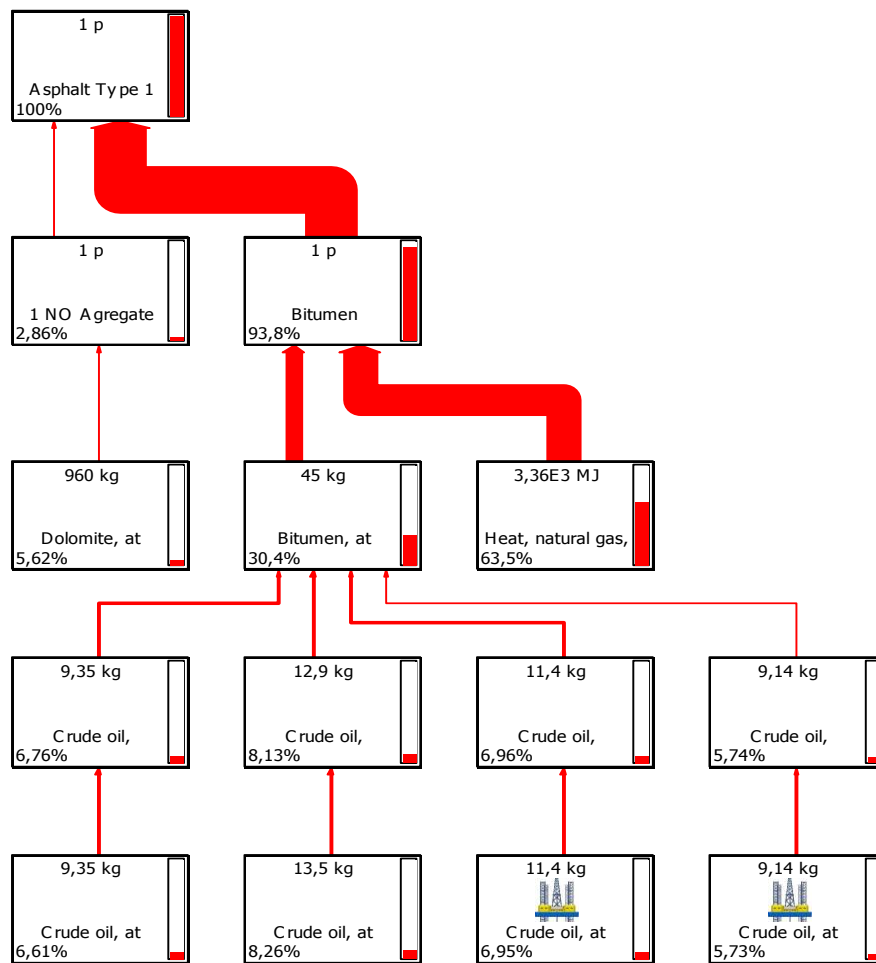
Asfalt tiplerine ait üretim tablolarında verilen bütün malzemelerin bilgisayar programına girişlerin yukarıdaki örnek dahilinde tamamlandıktan sonra aynı sayfa içerisinde Asphalt Type 1 (Tip-1) adlı bir dosya daha oluşturuyoruz. Şekil 4.7.'de program ekranında gösterilmiştir. Oluşturulan Asphalt Tip-1 seçili iken yeni diyerek bir sayfa açılır. Açılan sayfada materials/assemblies kısmındaki insert line here tıklanarak Tip-1 asfalt üretimi için oluşturduğumuz 1 nolu agrega, 2 nolu agrega, filler ve bitüm üretimleri bu başlık altına girilir. Ayrıca bu malzemelerin birbirleri ile karıştırılırken kullandığımız elektrik miktarını da processes başlığı altında insert line here tıklanarak eklenir. Böylece Tip-1 asfalt üretimi SimaPro bilgisayar programında kurgulanmış olur. Aynı şekilde Tip-5 ve binder tip asfalt üretimleri de Tip-1 asfalt oluşturulurken izlenen adımlar yardımı ile programda oluşturulur.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın 4. bölümünde SimaPro programı içerisinde oluşturulan üç tip asfalt üretim sürecinin yaşam döngülerinin değerlendirilmesi ile bu asfalt tiplerinin üretiminden dolayı açığa çıkardıkları karbondioksit miktarlarının belirlenmesine çalışılmıştır.

5.1. Tip 1- Asfalt

Çalışmanın (Bölüm 4) önceki bölümlerinde verilen miktarlara göre SimaPro programı yardımı ile oluşturulan Tip-1 asfalt üretimine ait çevresel yaşam döngüsü ağaç diyagramı, etki değerlendirmesi ve CO₂ kaynakları ve miktarları aşağıda verilmiştir.



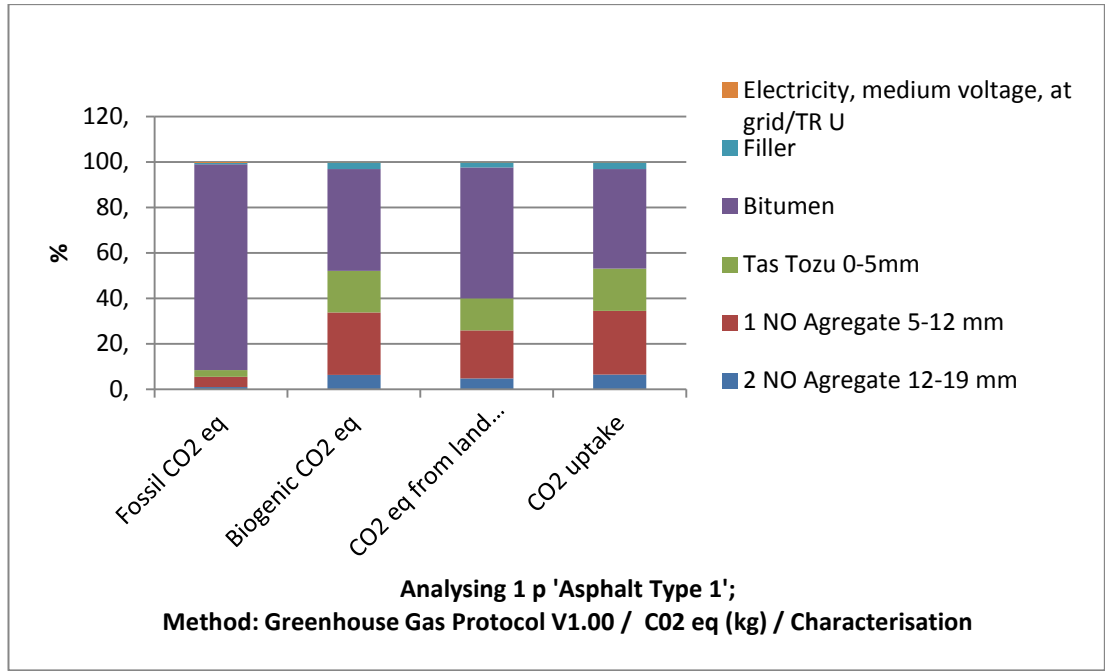
Şekil 5.1. Tip-1 Asfalt tipine ait LCA diyagramı [SimaPro 7.2.]

Şekil 5.1.'de Tip-1 asfalt üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkileri diyagram olarak verilmiştir. Diyagramda da görüldüğü üzere Tip-1 asfalt üretiminde kullanılan malzemeler içerisinde en büyük çevresel etki bitümden daha sonra ise bitüm tankının ısıtılması sırasında kullanılan doğalgazdan kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.1. Tip-1 asfalt tipine ait etki değerlendirilmesi [SimaPro 7.2.]

Etki Kategorisi	Birim	Tip-1
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi (Abiotic depletion)	kg Sb eq	3,38
Asidifikasyon Etkisi (Acidification)	kg SO ₂ eq	0,614
Ötrofikasyon Etkisi (Eutrophication)	kg PO ₄ ---eq	0,159
Küresel Isınmaya Etkisi (Global warming)	kg CO ₂ eq	308
Ozon Tabakasının İncelmesine Etkisi (Ozone layer depletion)	kg CFC-11 eq	5,62E-5
İnsan Toksisitesine Etkisi (Human Toxicity)	kg 1,4-DB-eq	74
Tatlı Su Ekotoksisitesine Etkisi (Fresh water aquatic ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	20,9
Deniz Suyu Ekotoksisitesine Etkisi (Marine aquatic ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	6,42E4
Karasal Ekotoksisitesine Etkisi (Terrestrial Ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	0,365
Fotokimyasal Oksidasyon Etkisi (Photochemical oxidation)	kg C ₂ H ₄	0,047

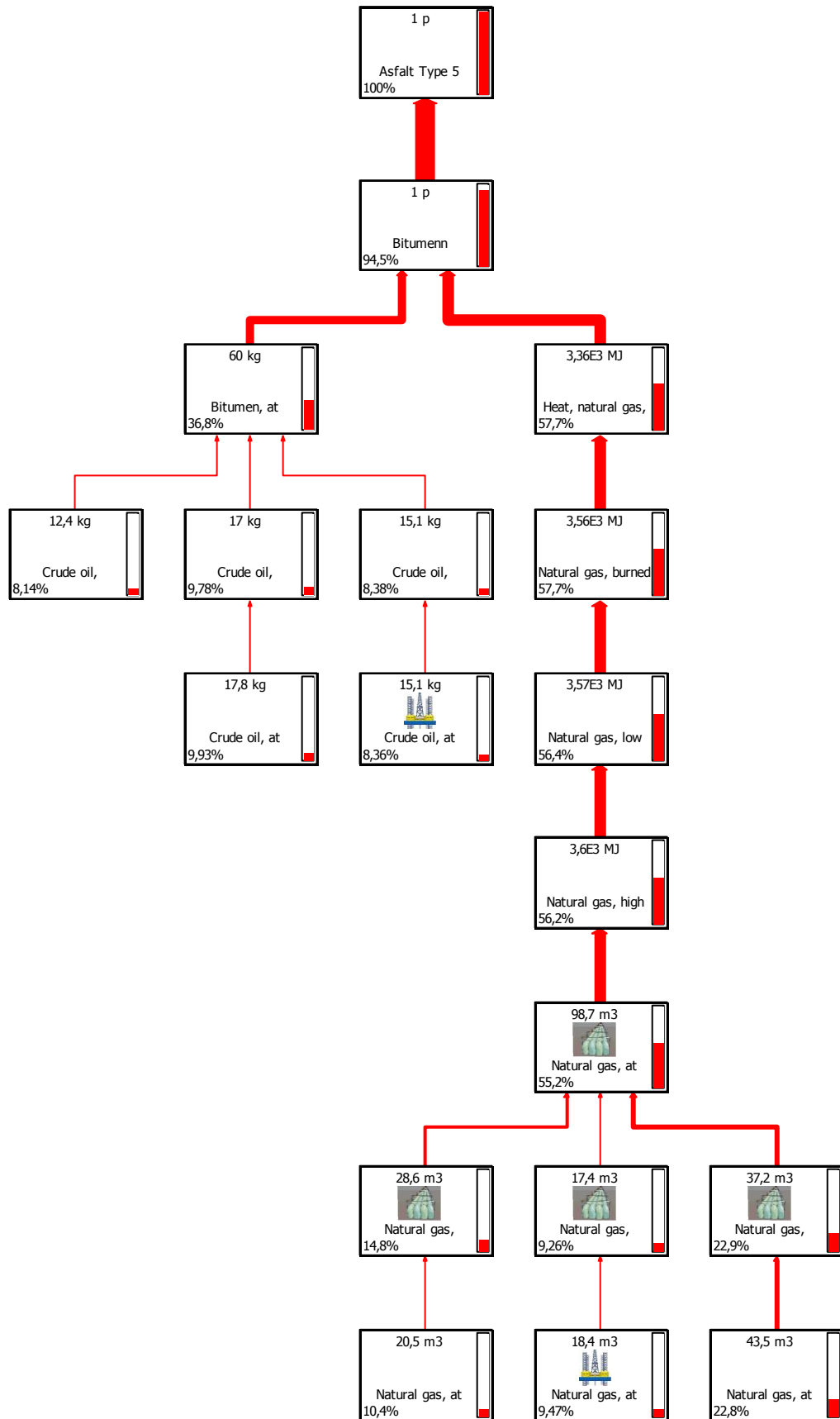
Tablo 5.1.'de Tip-1 asfalt üretimine ait çevresel etkiler CML 2 baseline 2000 yöntemine göre hesaplanmış olup etkilediği ortamlara göre birimleri ile beraber hesaplanmıştır. Şekil 5.2.'de ise belirtilen tipte üretilen asfalta ait CO₂ kaynakları ve miktarları Greenhouse Gas Protocol yöntemine göre hesaplanarak verilmiştir.



Şekil 5.2. Tip-1 Asfalt üretimine ait CO₂ kaynakları ve miktarları
[SimaPro 7.2.]

5.2. Tip 5- Asfalt

Çalışmanın (Bölüm 4) önceki bölümlerinde verilen miktarlara göre SimaPro programı yardımı ile oluşturulan Tip-5 asfalt üretimine ait çevresel yaşam döngüsü ağaç diyagramı, etki değerlendirmesi ve CO₂ kaynakları ve miktarları aşağıda verilmiştir.



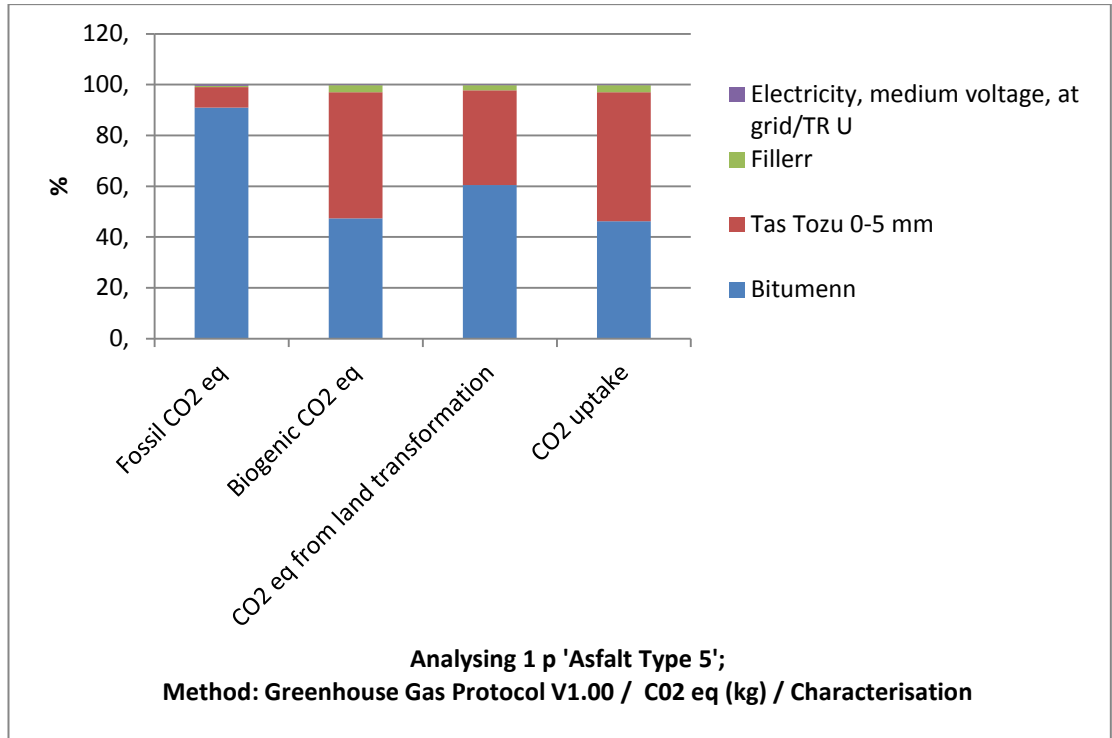
Şekil 5.3. Tip-5 Asfalt tipine ait LCA diyagramı [SimaPro 7.2.]

Şekil 5.3.'de Tip-5 asfalt üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkileri diyagram olarak verilmiştir. Diyagramda da görüldüğü üzere Tip-5 asfalt üretiminde kullanılan malzemeler içerisinde en büyük çevresel etki bitümden daha sonra ise bitüm tankının ısıtılması sırasında kullanılan doğalgazdan kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.2. Tip-5 asfalt tipine ait etki değerlendirmesi [SimaPro 7.2.]

Etki Kategorisi	Birim	Tip-5
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi (Abiotic depletion)	kg Sb eq	3,71
Asidifikasyon Etkisi (Acidification)	kg SO ₂ eq	0,692
Ötrofikasyon Etkisi (Eutrophication)	kg PO ₄ ---eq	0,169
Küresel Isınmaya Etkisi (Global warming)	kg CO ₂ eq	313
Ozon Tabakasının İncelmesine Etkisi (Ozone layer depletion)	kg CFC-11 eq	6,27E-5
İnsan Toksisitesine Etkisi (Human Toxicity)	kg 1,4-DB-eq	78,9
Tatlı Su Ekotoksitesine Etkisi (Fresh water aquatic ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	21,8
Deniz Suyu Ekotoksitesine Etkisi (Marine aquatic ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	6,87E4
Karasal Ekotoksitesine Etkisi (Terrestrial Ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	0,388
Fotokimyasal Oksidasyon Etkisi (Photochemical oxidation)	kg C ₂ H ₄	0,0516

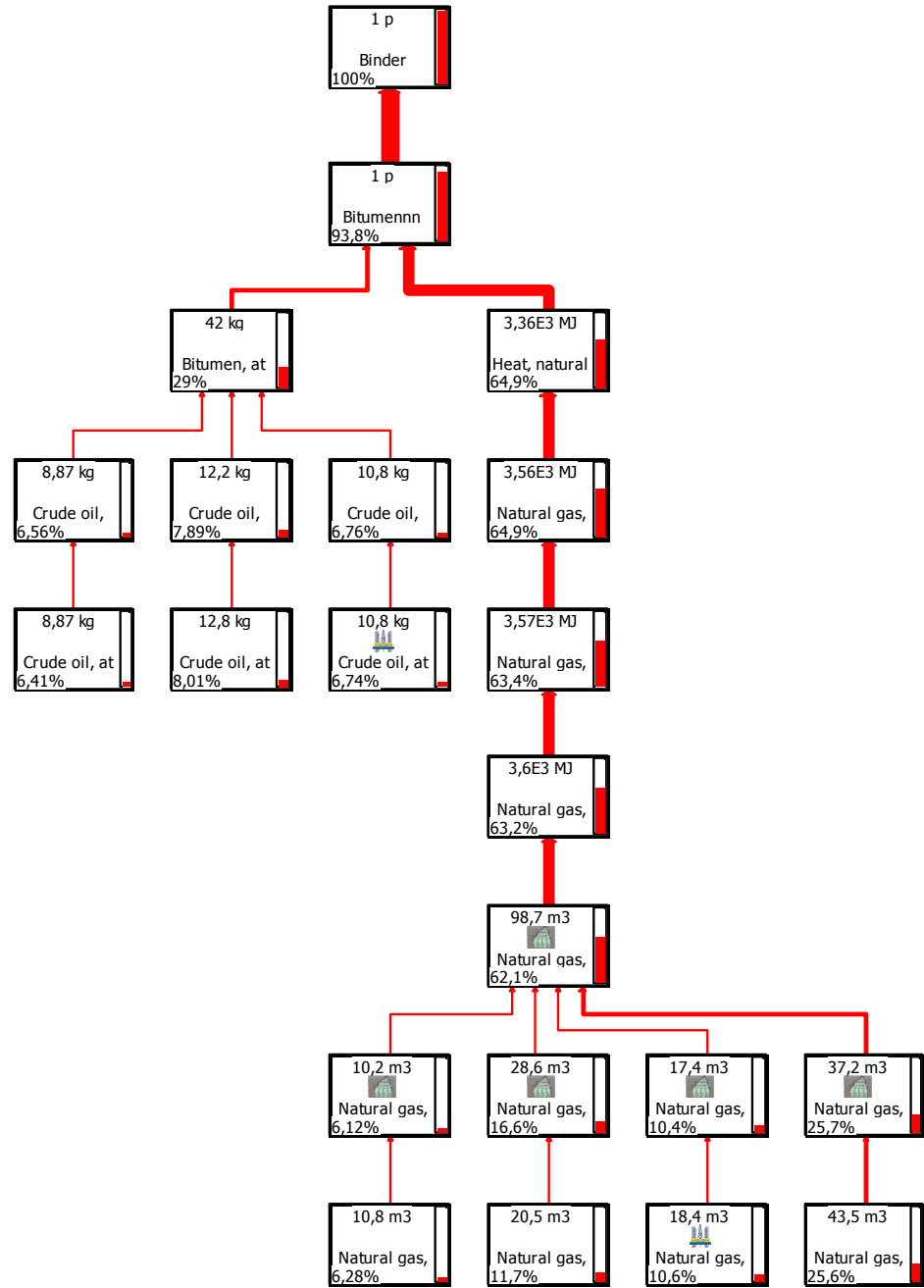
Tablo 5.2.'de Tip-5 asfalt üretimine ait çevresel etkiler CML 2 baseline 2000 yöntemine göre hesaplanmış olup etkilediği ortamlara göre birimleri ile beraber hesaplanmıştır. Şekil 5.4.'de ise belirtilen tipte üretilen asfalta ait CO₂ kaynakları ve miktarları Greenhouse Gas Protocol yöntemine göre hesaplanarak verilmiştir.



Şekil 5.4. Tip-5 Asfalt üretimine ait CO₂ kaynakları ve miktarları
[SimaPro 7.2.]

5.3. Binder Asfalt;

Çalışmanın (Bölüm 4) önceki bölümlerinde verilen miktarlara göre SimaPro programı yardımı ile oluşturulan binder asfalt üretimine ait çevresel yaşam döngüsü ağaç diyagramı, etki değerlendirmesi ve CO₂ kaynakları ve miktarları aşağıda verilmiştir.



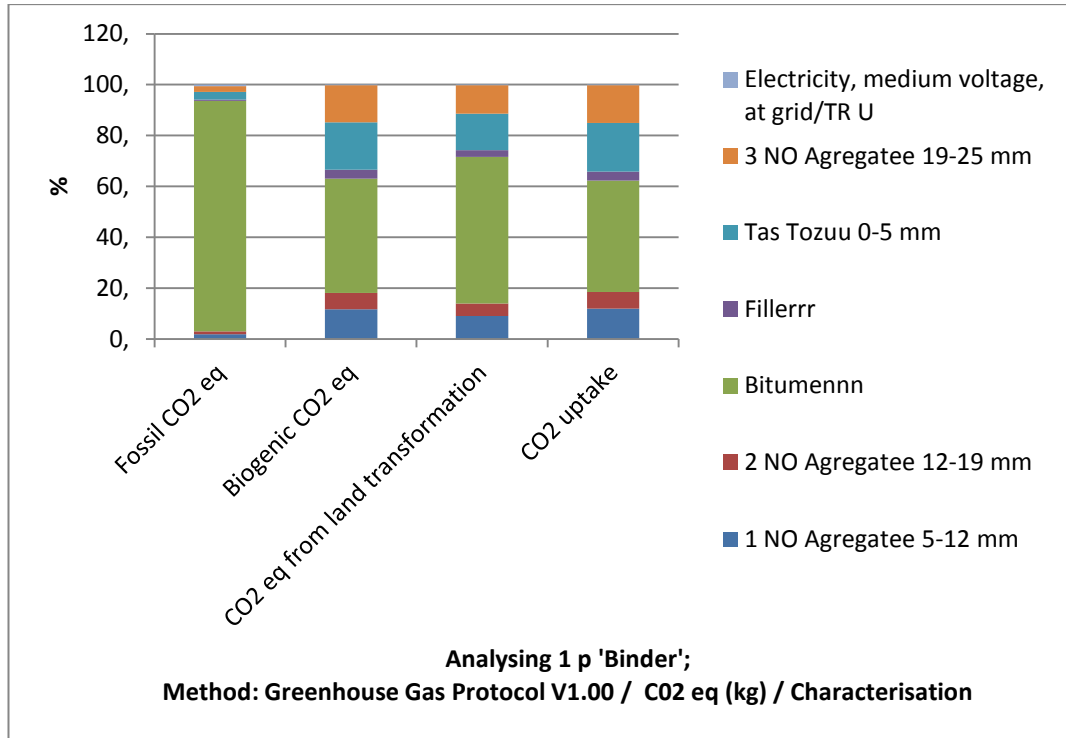
Şekil 5.5. Binder Asfalt tipine ait LCA diyagramı [SimaPro 7.2.]

Şekil 5.5.'de binder asfalt üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkileri diyagram olarak verilmiştir. Diyagramda da görüldüğü üzere Tip-5 asfalt üretiminde kullanılan malzemeler içerisinde en büyük çevresel etki bitümden daha sonra ise bitüm tankının ısıtılması sırasında kullanılan doğalgazdan kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.3. Binder asfalt tipine ait etki değerlendirmesi [SimaPro 7.2.]

Etki Kategorisi	Birim	Binder
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi (Abiotic depletion)	kg Sb eq	3,3
Asidifikasyon Etkisi (Acidification)	kg SO ₂ eq	0,595
Ötrofikasyon Etkisi (Eutrophication)	kg PO ₄ ---eq	0,154
Küresel Isınmaya Etkisi (Global warming)	kg CO ₂ eq	306
Ozon Tabakasının İncelmesine Etkisi (Ozone layer depletion)	kg CFC-11 eq	5,48E-5
İnsan Toksisitesine Etkisi (Human Toxicity)	kg 1,4-DB-eq	72,5
Tatlı Su Ekotoksitesine Etkisi (Fresh water aquatic ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	20,4
Deniz Suyu Ekotoksitesine Etkisi (Marine aquatic ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	6,26E4
Karasal Ekotoksitesine Etkisi (Terrestrial Ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	0,356
Fotokimyasal Oksidasyon Etkisi (Photochemical oxidation)	kg C ₂ H ₄	0,0459

Tablo 5.3.'de Binder asfalt üretimine ait çevresel etkiler CML 2 baseline 2000 yöntemine göre hesaplanmış olup etkilediğı ortamlara göre birimleri ile beraber hesaplanmıştır. Şekil 5.6.'de ise belirtilen tipte üretilen asfalta ait CO₂ kaynakları ve miktarları Greenhouse Gas Protocol yöntemine göre hesaplanarak verilmiştir.

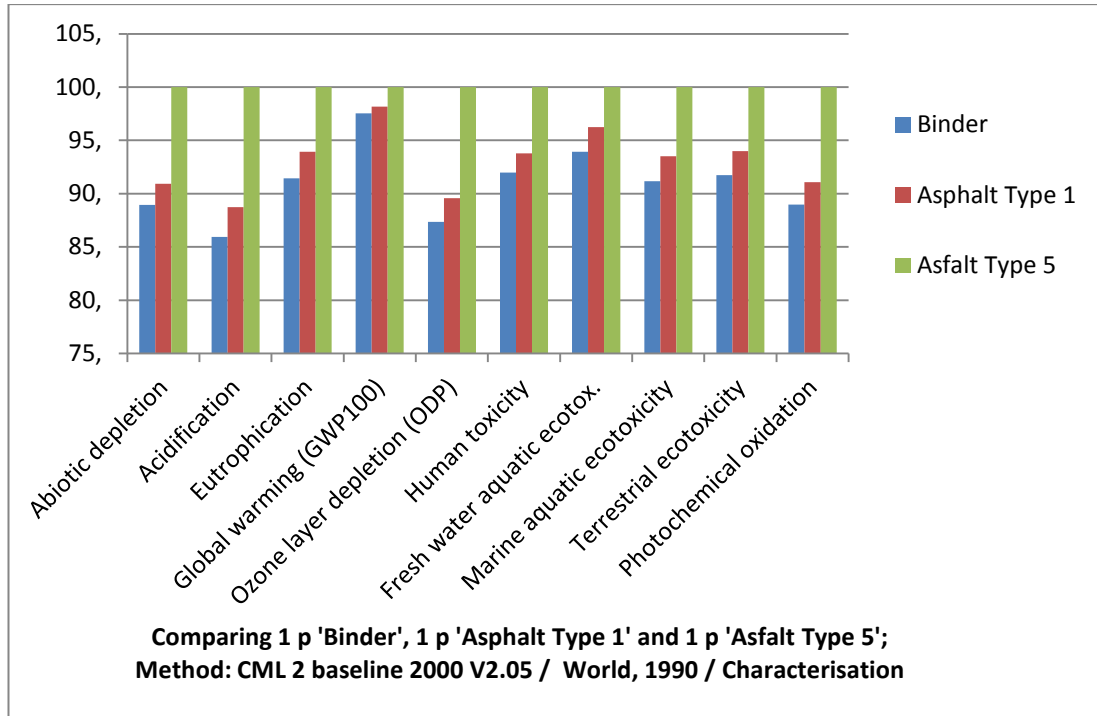


Şekil 5.6. Binder asfalt üretimine ait CO₂ kaynakları ve miktarları

[SimaPro 7.2.]

5.4.Üretimi Yapılan Üç Asfalt Türünün Karşılaştırılması

Yaşam döngüleri bakımından yapılan değerlendirmede üç farklı asfalt tipinin (binder, Tip-1 ve Tip-2) üretiminden kaynaklı olarak ortaya çıkan çevresel etkiler, SimaPro programı ile belirlenmiş ve sonuçlar özetle Şekil 5.7.'de verilmiştir.



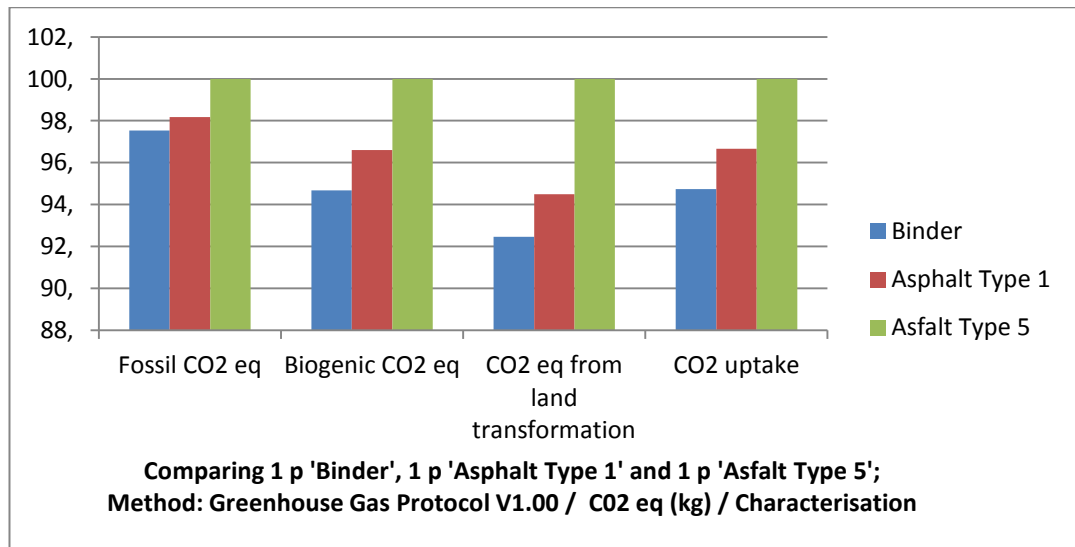
Şekil 5.7. Üç Farklı Asfalt Tipinin Çevresel Etkileri [SimaPro 7.2.]

Şekil 5.7.'de görüldüğü üzere farklı asfalt tiplerinin üretimlerinin çevresel etkileri CML 2 baseline 2000 yöntemi ile SimaPro programı kullanılarak karşılaştırıldığında Tip-5 asfalt üretimi süreci Binder ve Tip-1 asfalt üretim sürecinden daha fazla çevresel etki yaratan asfalt üretim süreci olarak görülmektedir. Binder ve Tip-1 asfalt üretim süreçleri karşılaştırıldığında ise binder asfalt üretiminin çevresel etkilerinin Tip-1 asfalt üretimden daha az olduğu görülmektedir. Aşağıda verilen Tablo 5.4.'de ise çevresel etkilerin ağırlıkça miktarları etki kategorisine göre birimleri ile beraber verilmiştir.

Tablo 5.4. Üç farklı asfalt tipine ait etki değerlendirilmesi [SimaPro 7.2.]

Etki Kategorisi	Birim	Binder	Tip-1	Tip-5
Abiyotik Kaynakların Tükenmesi (Abiotic depletion)	kg Sb eq	3,3	3,38	3,71
Asidifikasyon Etkisi (Acidification)	kg SO ₂ eq	0,595	0,614	0,692
Ötrofikasyon Etkisi (Eutrophication)	kg PO ₄ ---eq	0,154	0,159	0,169
Küresel Isınmaya Etkisi (Global warming)	kg CO ₂ eq	306	308	313
Ozon Tabakasının İncelmesine Etkisi (Ozone layer depletion)	kg CFC-11 eq	5,48E-5	5,62E-5	6,27E-5
İnsan Toksisitesine Etkisi (Human Toxicity)	kg 1,4-DB-eq	72,5	74	78,9
Tatlı Su Ekotoksitesine Etkisi (Fresh water aquatic ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	20,4	20,9	21,8
Deniz Suyu Ekotoksitesine Etkisi (Marine aquatic ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	6,26E4	6,42E4	6,87E4
Karasal Ekotoksitesine Etkisi (Terrestrial Ecotoxicity)	kg 1,4-DB-eq	0,356	0,365	0,388
Fotokimyasal Oksidasyon Etkisi (Photochemical oxidation)	kg C ₂ H ₄	0,0459	0,047	0,0516

Karbon salınımı yönünden yapılan hesaplamada, SimaPro programı veri tabanında bulunan analiz metodu olan Greenhouse Gaz Protokolüne göre, üç asfalt tipinin üretim sürecinden kaynaklanan CO₂ kaynakları ve miktarları belirlenecektir.

**Şekil 5.8.** GHG Protokolüne Göre CO₂ Kaynakları [SimaPro 7.2.]

Tablo 5.8.'de görüldüğü üzere üç farklı asfalt tipi üretim sürecinde ortaya çıkan CO₂ kaynakları ile bunları oranları SimaPro programı yardımı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda Fosil, biyojenik, arazi dönüşümü ve CO₂ alımı olmak üzere dört farklı karbon kaynağı görülmekte olup en fazla CO₂ etkisi yaratan süreç Tip-5 asfalt üretim süreci olup onu sırası ile Tip-1 ve Binder asfalt üretim süreci takip etmektedir.

Tablo 5.5.'de ise asfalt tiplerinin CO₂ miktarlarının kaynaklarına göre ağırlıkça oranları verilmektedir.

Tablo 5.5. Üç Farklı Asfalt Tipinin CO₂ Etki Kategorileri ve Miktarları

Etki Kategorisi	Birim	Binder	Tip-1	Tip-5
Fossil CO₂ eq	kg CO ₂ eq	308	310	316
Biogenic CO₂ eq	kg CO ₂ eq	0.91	0.929	0.961
CO₂ eq from land transformation	kg CO ₂ eq	0.00328	0.00335	0.00355
CO₂ uptake	kg CO ₂ eq	0.921	0.94	0.973

Üç farklı asfalt üretim sürecinin yaşam döngülerinin değerlendirilmesi ile CO₂ salınımlarının değerlendirilmesi sonrası yukarıda sunulmuş olan program verilerine göre çevresel etkisi en fazla olan asfalt üretim süreci Tip-5 olarak belirlenmiştir. En az çevresel etkiye sahip süreç ise binder tip asfalt üretim sürecidir.

Asfalt üretim süreçleri ile üretimde kullanılan malzemeler göz önüne alındığında; Tip-5 asfalt üretiminde kullanılan bitüm miktarı 60 kg, Tip-1 asfalt üretiminde kullanılan bitüm miktarı 45 kg, binder tip asfalt üretim sürecinde kullanılan bitüm miktarı ise 42 kg'dır. Bitüm miktarları ile çevresel etkiler açısından bir doğru orantı görülmüş olup bitüm miktarı arttıkça bundan kaynaklı çevresel etkiler ve karbon salınımları artmaktadır.

Bu çalışma ile dünyada çoğunlukla tercih edilen asfalt yolların üretiminde kullanılan bitümün yerine aynı birleştiriciliği sağlayabilecek yeni malzemeler bulunması ve kullanılması gerekmekte olup petrol kaynaklı bu malzemenin çevreye doğaya verdiği zararların önüne geçilmesi sağlanmalıdır.

6. SONUÇLAR

Dünyada insan nüfusundaki artışla beraber kullanılan araç sayılarında büyük artışlar görülmektedir. Bu artış nedeniyle daha konforlu, daha çevreci ve daha uzun ömürlü yollara ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyadaki yolların çok büyük kısmı asfalt yollardan meydana gelmektedir. Asfalt hammadde ve enerji kullanılan bir sektör olması nedeniyle çeşitli çevresel etkilere de sahiptir. Asfalt üretim süreci incelendiğinde, agrega üretimden kaynaklanan hava kirliliği, su kirliliği ve atıklar, bitüm üretiminden kaynaklanan hava kirliliği, su kirliliği ve atıklar ile asfalt üretiminden, hava kirliliği ve atıklar olmak üzere yarattığı çevresel etkiler sıralanabilir.

Asfalt üretiminin yarattığı çevresel etkilerin minimum düzeye indirilerek, çevreye daha duyarlı olarak üretilmesi için içeriğinde bulunan malzemelerin alternatif malzemeler ile değiştirilmesi ayrıca üretimi sırasında kullanılan enerji miktarlarının düşürülmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, bir asfalt üretim tesisinde üretilen Tip-1, Tip-5 ve binder tip asfalt üretim süreçlerinin yaşam döngülerinin değerlendirilmesi ve karbon kaynakları ile miktarlarının belirlenmesine çalışılmıştır. Bu çalışmada PRè Consultans adlı Hollanda firmasına ait lisanslı SimaPro 7.2. bilgisayar yazılımı kullanılmıştır.

Asfalt üretim tesisinde üretilen her bir asfalt tipine ait enerji ve hammadde miktarları SimaPro yazılımı içerisinde oluşturulmuştur. Oluşturulan tiplere ait yaşam döngüsü değerlendirme ağaç diyagramları CML 2 baseline 2000 yöntemine göre bulunmuştur. Bu diyagramlarda her tip asfalt üretimine ait en çok çevresel etkiye sebep olan hammaddeler görülmektedir. Ağaç diyagramları incelendiğinde üç tip asfalt üretiminde en çok çevresel etkiye sebep olan hammadde bitüm olup, enerji kullanımı yönünden ise bitümün ısıtılması nedeniyle kullanılan doğalgazın en fazla etkiye sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca aynı yöntem kullanılarak asfalt tiplerinin etki kategorileri; abiyotik kaynakların tükenmesi, asidifikasyon, ötrofikasyon, küresel ısınma, ozon tabakası incilmesi, insan toksisitesi, tatlı su

ekotoksitesitesi, deniz suyu ekotoksitesitesi, karasal ekotoksitesite fotokimyasal oksidasyon başlıkları altında birimler ve etki miktarları ile beraber bulunmuştur. Bu yöntemde de bütün etki kategorilerinde en çok etki Tip-5 asfalt üretim sürecinden kaynaklanmakta olduğu görülmüş olup sırasıyla Tip-1 ve binder tip asfalt üretim süreçleri takip etmektedir.

Aynı şekilde SimaPro yazılımı içerisinde oluşturulan her üç asfalt tipinin CO₂ kaynakları ve miktarları Greenhouse Gas Protocol'ü yöntemi ile belirlenmiştir. Fosil, biyojenik, arazi dönüşümü ve CO₂ alımı olmak üzere dört farklı kaynaktan kaynaklanan etkiler ve miktarları kg CO₂ eq birimi ile belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre dört kaynaktan da en çok etki Tip-5 asfalt üretim sürecinden kaynaklanmakta olduğudur. Onu sırasıyla Tip-1 ve binder tip asfalt üretim süreçleri takip etmektedir.

Bu çalışmada asfalt üretiminde bağlayıcılığı sağlamak için kullanılan bitümün petrol türevli bir malzeme olması nedeniyle çok fazla çevresel etkiye sebep olduğu görülmüştür. Bu nedenle asfalt üretiminde bitüm yerine asfalt üretiminde aynı etkiyi sağlayabilecek ve uygun fiyatlı malzemeler bulunması ve kullanılması sağlanmalı veya üretimdeki bitüm miktarı azaltılarak azaltılan ölçüde çevreye daha az etkisi bulunan malzeme kullanılması sağlanmalıdır.

Yine sürekli sıcak tutulması gereken bitüm tanklarını ısıtmak için kullanılan enerji (doğalgaz) miktarının da düşürülmesi veya bitümün depolama şartlarını değiştirerek örneğin soğuk depolayarak asfalt üretim dönemleri olan genelde yaz aylarında üretim esnasında ısıtılmasını sağlayarak enerji kullanımdan kaynaklanan çevresel etkiyi de en aza indirmiş olabiliriz.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Asfalt üretimi yapan firma ile bir kaç kez sözlü görüşme (2012).

Asfalt ve Uygulamaları (2001), İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş. Bilimsel Yayın No:1, İstanbul.

ASMÜD , Asfalt Müteahhitleri Derneği, www.asmud.org.tr

Banar, M., Çokaygil, Z., Ozkan, A., (2009), Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey, Waste Management 29, 54–62

Bishop, P.L., (2000), Pollution Prevention, Mc Graw Hill, Singapore

Bozkurt, E., (2007), Life Cycle Assesments (LCA) based home rating model for İzmir (HRM-İZMİR), Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İzmir.

Cleary, J. (2009), Life Cycle Assessments of Municipal Solid Waste Management Systems: A Comparative Analysis of Selected Peer-Reviewed Literature, Environment International 35 , pp. 1256–1266.

Curan M. A., (2005), LCA Team Leader, "What is the LCA?", USA Environmental Protection Agency; National Risk Management Research Laboratory, 26 W. Martin Luther King Drive, Cincinnati, Ohio.

Curran M. A., (1996), Environmental life cycle assesments, McGraw-Hill, New York.

ÇAMUR C., (2010), Isı yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle çevresel etkilerinin değerlendirilmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Çokaygil, Z. (2005), Atık Yönetimi Planlanmasında Yaşam Döngüsü Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Çokaygil, Z., Özkan, A., Banar, M., (2008), Çimento üretiminin yaşam döngüsü analizi, İ.T.Ü. 11. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, İstanbul.

Dandres, T., et al , (2012), Macroanalysis of the economic and environmental impacts of a 2005-2025 European Union Bionergy Policy Using the GTAP Model And Life Cycle Assesments, 1180-1192.

Finnveden, G., Michael Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., Suh, S., (2009) Recent developments in Life Cycle Assessment, Journal of Environmental Management 91, 1–2.

Frankl, P., et al, (2000), Life Cycle Assesments in Industry and Busuiness. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Printed in Germany.

Goedkoop M., et al (2000), Methodology Annex: The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assesment. PRE Consultants, Amersfoort, The Netherlands, retrieved from www.pre.nl/eco-indicator99.

Gültekin, A. (2006), Yaşam Döngüsü Değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

Hakkinen T., et al (1996), Environmental Impact of Concrete and Asphalt Pavements. Technical Research Center of Finland. Research Notes 175. VTT, Finland.

Hauschild M., et al, (2005), Background for spatial differentiation in LCA impact assesment: The EDIP03 methodology. Institute for Product Development Technical University of Denmark. Environmental Project. 996, Denmark.

Hendrickson, C.T., Lave, L.B., Matthews H.S., (2006), Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services: An Input-Output Approaches, RFF press, Washington.

Horne R., et al, (2009), Life Cycle Assessments (Principles, Practice and Prospects). Csiro Publishing, Australia.

Horne, R.E., Grant, T., Verghese, K.L., (2009), Life Cycle Assessment: Principles, Practice and Prospects, Csiro Publishing, Australia

Horvarth A., (2003), Lie-Cycle Environmental and Economic Assessments of Using Recycled Materials for Asphalt Pavement. Technical Report. University of California, Berkeley.

ISO (2003), Environmental Management - Life Cycle Impact Assessments - Examples of Application of ISO 14042. International Organization for Standardization. ISO/TR 14047:2003(E). Geneva, Switzerland.

ISO (2006), Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. International Organization for Standardization. ISO 14040:2006(e). Geneva, Switzerland.

ISO (2006), Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirement and Guidelines. International Organization for Standardization. ISO 14044:2006(E). Geneva, Switzerland.

Irving,K., (1998), Asphalt materials and mix design manual, William Andrew Publishing, 249 p.

Langevin, B., Basset-Mens, C., Lardon L. (2010), Inclusion of the Variability of Diffuse Pollutions in LCA for Agriculture: The Case of Slurry Application Techniques, Journal of Cleaner Production 18, pp. 747–755

Monismith, L. C., Leahy, B.R., Epps A.J.,(2001), Asphalt Paving Technology, McGraw-Hill School Education Group, 480 p.

Nebel B.,Zimmer B., Wegener G., (2006), Life cycle assesments of wood floor coerings, INT J LCA 11(3), 172-182

Özeler D., Yetis Ü ., Demirer G.N., (2006), Life cycle assesment of municipal solid waste management methods: Ankara case study, Environment International 32, 405 – 411

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg,Santero, N., Kendall, A., et al, (2008), Environmental Life - Cycle Assesment for Asphalt Pavements: Issues and Recommended Future Directions

Schmidt, T., Suh P., Weidema, S., Pennington, B.P., (2004) Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications, Environment International 30, 701– 720

SETAC (The Society for Environmental Toxicology and Chemistry, www.setac.org) (1991). A Technical Framework for Life Cycle Assessment Report of Workshop in Washington.

SHELL Bitüm El Kitabı (2004), İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş. Bilimsel Yayın No:3, İstanbul.

Sonnemann, G., Castells, F., Schuhmacher, M., (2004), Integrated Life-Cycle and Risk Assessment For Industrial Processes, CRC Press LLC, Florida

Sünbül, A. E., (2006), Otomotiv endüstrisinde geri dönüşüm-ürün yaşam döngüsü değerlendirmesi, Yüksek lisans tezi,Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Taygun, G.T., Balanlı, A., (2005), Yaşam döngüsü süreçlerinde yapı ürünü-çevre etkileşimi,YTÜ Mimarlık Fak. e-Dergisi. Cilt 1, Sayı 1, İstanbul.

Türk Standartları Enstitüsü (2007), TS EN ISO 14040: Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme- Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensip ve Çerçeve, Ankara, Türkiye.

Türk Standartları Enstitüsü (2007), TS EN ISO 14044: Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Gereksinimler ve Kılavuzlar, Ankara, Türkiye.

UNEP, United Nations Environment Programme, www.unep.org

US EPA, United States Environmental Protection Agency, www.epa.gov

Usmani A. M., Asphalt Science and Technology, 1997, 544 p

ÜN, Y., (2009), Atıksu arıtma tesislerinde yaşam döngüsü analizi, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Van den Heede, P.N., (2012), Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and green concretes: Literature review and theoretical calculations cement & concrete composites 34, 431–442.

Varun, I., Bhat, K., Prakash, R. (2009), LCA of Renewable Energy for Electricity Generation Systems—A Review Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 1067–1073.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Ad, Soyad : Murat Özgür POLAT
Doğum Tarihi : 21.09.1984
Cep Tel : 90 530 315 51 70
E-posta : muratozgurpolat@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	<u>Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü</u> Çevre Mühendisliği Bölümü-2013 <u>Uzmanlık Alanları:</u> Katı Atıkların Yönetimi, Sürdürülebilirlik, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA-Life Cycle Assesment) ve Karbon Ayak İzi (Carbon Footprint) <u>Kişisel İlgil Alanı:</u> Akustik, Gürültü Ölçümleri, Gürültü Azaltıcı Yöntemler
Lisans	<u>Cumhuriyet Üniversitesi</u> Çevre Mühendisliği Bölümü-2007

KURS / SERTİFİKA BİLGİSİ

- Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA-Life Cycle Assesment) ve Karbon Ayak İzi Uygulamalı Eğitimi (Metsims , Dr.Hüda KARA, 2011)
- B-1 Tipi Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Sertifika Programı (İTÜ,2010)
- A-2 Tipi Mühendislik Akustüğü Eğitimi Sertifika Programı (Fizik Müh.Odası ,2010)
- Çevre Görevlisi Eğitimi (Çevre ve Orman Bakanlığı, Antalya ,2010)
- Sürekli İyileştirme (Kai-Zen) ve Poka Yoke Eğitimi (MESS Eğitim Vakfı, 2010)
- LPG İstasyonlarından Sorumlu Müdür Eğitimi (Çevre Müh.Odası, 2008),

YAYINLAR

- Sedat Çil, M.Özgür Polat, Nihal Bektaş, Evaluation of solid waste management alternatives using life cycle assessment as a tool, EURASIA, Waste Mangement Symposium, 14-16 Kasım 2011, İstanbul, Türkiye.
- Murat Özgür Polat, Mesut Tekbaş, Nihal Bektaş, Elektronik Atıkların Yönetimi ve Geri Kazanım Teknikleri, 2. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, UKAY 2010, 18-20 Ekim 2010, Mersin Üniversitesi, MERSİN