



**T.C.  
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN TAMPON VE TURBO EMİŞ  
BORUSUNUN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yasemin CEYLAN ÖZTÜRK**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. Ahmet KILIÇ**

**İKİNCİ DANIŞMAN**

**Yrd. Doç Dr. Aliye Suna ERSES YAY**

**AKSARAY, 2012**

T.C.

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL ve ONAY BELGESİ

Yasemin CEYLAN ÖZTÜRK'ün OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN TAMPON VE TURBO EMİŞ BORUSUNUN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ başlıklı Lisansüstü tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 06.12.2012 tarih ve 2012/39—10 sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS** Tezi olarak **Oy Birliği** ile kabul edilmiştir.

İmza

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Ahmet KILIÇ (Aksaray Üniversitesi)



**Üye** : Doç. Dr. Kemal ALDAŞ (Aksaray Üniversitesi)



**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Melayib BİLGİN (Aksaray Üniversitesi)



Tezin Savunulduğu Tarih: 27.12.2012

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **03.01.2013**... tarih ve **2013/01-01**...sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Selçuk REİS

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Teknolojinin gelişmesi ile toplumun ihtiyaçlarını karşılama ve çevresel sıkıntıları azaltmak amacıyla elektronik, otomobil, ev aleti gibi günlük kullanılan aygıtları üreten firmalar, hammadde ve enerji kullanımının artmasına ve buna paralel olarak oluşan atıklar çevre kirliliği büyümesine sebep olmuşlardır.

Günümüzde çevre ile ilgili konularda toplumsal duyarlılığın artmasıyla birlikte kirliliğin önlenmesi önem kazanmıştır. Kirlilik önleme uygulamaları bir ürünün hammadde temini, üretim, kullanım ve kullanım sonrası bertaraf aşamalarında gerçekleştirilmektedir. Kirlilik önleme araç ve yöntemleri; Çevresel Etki Değerlendirmesi (Environmental Impact Assessment) (EIA), Yaşam Döngü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment) (LCA), Çevre Teknolojisi Değerlendirme (Environmental Technology Assessment) (ETA), Kimyasal Değerlendirme (Chemical Assessment) (CA), Atık Denetleme (Waste Reduction Audit) (WRA) ve Enerji Denetleme (Energy Audit) (EA)'dir. Bu çalışmada kullanılan LCA yönteminde asıl hedef çevreye olan etkilerin karar aşamasında tespiti ve mümkün olduğunca çevre dostu ekonomik ürün, proses ve aktivitelerin seçimidir.

LCA yaklaşımı; çalışma sınırlarının belirlenmesi, toplanan bilgilerin kalite ve güvenilirliği, bu bilgilerin analizinde kullanılan yaklaşımlar, çalışmayı yürüten kişi ve kuruluşların görüş açıları gibi konulardaki farklılıklara bağlı olarak çok değişik sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle baz alınan kriterlerin sonuçları dikkatle incelenmeli ve karar aşamasındaki ağırlıkları belirlenmeli, mevcut bilgisayar yazılımlarının iyileştirilmesi, özellikle bu tez çalışmasında kullanılan Hollanda patentli SimaPro 7.3.2. yazılımının ülkemizin çevre koruma versiyonunun geliştirilmesi, bu tip yazılımların öğrenilmesinde yeterli materyal ve kaynakların elde edilmesi, Üniversitelerimizde bu çeşit yazılımların kullanımının özendirilmesi ve Türkiye'deki küçük ve büyük ölçekli firmaların bu konu hakkında bilinçlendirilmesi gibi çalışmalar üzerine yoğunlaşılmalıdır.

Çalışmayı hazırlarken; yazılımı öğrenmede yeteri kadar materyal ve kaynaklara ulaşamama, Ülkemizde SimaPro 7.3.2. yazılımı üzerinde yetişmiş uzman sayısının oldukça az olması, özellikle otomotiv endüstrisindeki firmaların yeteri kadar bilgi vermesindeki çekinceler çalışmamı hazırlamada kısıtlayıcı ana etmenler olmuştur.

## TEŞEKKÜR

Yardım ve katkılarıyla beni destekleyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet KILIÇ'a (Aksaray Üniversitesi) ve tez konusunun belirlenmesinde, tezin her aşamasında her türlü bilgi ve deneyimini paylaşan, yol gösteren, çalışmama yön veren ve hoşgörüsünü esirgemeyen ikinci danışmanım Yrd. Doç. Dr. Aliye Suna ERSES YAY'a (Sakarya Üniversitesi),

çalışmanın veri toplama aşamasında yardımlarını esirgemeyen Kalite Müdürü Selcen ULU KILIÇ'a (Polytec Plastik) ve Üretim Müdürü Yusuf KILIÇ'a (Şirvanlı Alüminyum Döküm ve Metal Sanayi),

SimaPro 7.3.2. yazılım programının eğitimini veren ve bana vakit ayırıp her soruma büyük bir ilgi ve sabırla cevap Hüdai KARA'ya (Metsims Danışmanlık),

Yaşam Döngüsü Analizi ve SimaPro çalışmalarında verdiği destekten dolayı Arş. Gör. Meryem AKSU'ya (Sakarya Üniversitesi),

hayatımın her anında yanımda oldukları, beni destekledikleri, bana güvendikleri, gösterdikleri büyük sevgi ve anlayışları için annem Hanife CEYLAN, babam M. Zekai CEYLAN, kardeşlerim Şeyda ve Tuğçe CEYLAN'a ve

bu yoğun sürecin her aşamasını benimle birlikte yaşayan, tez dönemim boyunca moralimi üst düzeyde tutan, kendinden her fırsatta güç aldığım ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim eşim Ernam ÖZTÜRK'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. ISO 14000.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. LCA .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.1. LCA'nın tanımı .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.2. Gelişimi .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.3. Farklı uygulamalarda LCA'nın gelişmişlik seviyeleri.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.4. Metodolojisi .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.4.1. Amaç tarif ve kapsam .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2.4.2. Yaşam döngüsü envanter analizi .....</b>	<b>25</b>
<b>1.2.4.3. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi.....</b>	<b>28</b>
<b>1.2.4.4. İyileştirme değerlendirmesi ve yorum.....</b>	<b>31</b>
<b>1.2.5. LCA'nın metodolojik sorunları .....</b>	<b>33</b>
<b>1.2.6. LCA'nın potansiyel kullanıcı grupları ve uygulama alanları.....</b>	<b>33</b>
<b>1.2.6.1. Özel sektör uygulamaları.....</b>	<b>35</b>
<b>1.2.6.2. Kamusal uygulamalar .....</b>	<b>46</b>
<b>1.2.7. LCA'ya yönelik modeller .....</b>	<b>47</b>
<b>1.2.7.1. LEED modeli .....</b>	<b>47</b>
<b>1.2.7.2. Athena modeli .....</b>	<b>47</b>
<b>1.2.7.3. BEES modeli .....</b>	<b>47</b>
<b>1.2.7.4. BRE modelleri .....</b>	<b>48</b>
<b>1.2.7.5. Analytica modeli.....</b>	<b>49</b>
<b>1.2.7.6. GaBi modeli .....</b>	<b>49</b>
<b>1.2.7.7. TEAM modeli .....</b>	<b>50</b>
<b>1.2.7.8. GB Tool modeli.....</b>	<b>50</b>
<b>1.2.7.9. Woolley modeli .....</b>	<b>50</b>

1.2.7.10. Curwell ve March modeli .....	50
1.2.7.11. 'Eco-Quantum' modeli .....	51
1.2.7.12. SimaPro modeli .....	51
<b>1.3. Otomotiv Endüstrisinde kullanılan alüminyum ve plastik matrisli kompozit malzeme.....</b>	<b>51</b>
1.3.1 Alüminyum metali ve üretimi .....	51
1.3.2. Alüminyumun Geri Dönüşümü.....	53
1.3.3. Plastik matrisli kompozit malzeme (SMC) Üretimi.....	55
1.3.4. Plastik matrisli kompozit malzeme (SMC)'nin Geri Dönüşümü.....	57
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ .....</b>	<b>61</b>
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>63</b>
<b>3.1. Malzeme .....</b>	<b>63</b>
3.1.1. Otomotiv tamponu ve turbo emiş borusunun LCA uygulaması.....	63
3.1.1.1. Hedef ve kapsam tarifi .....	63
3.1.1.1.1. Hedef .....	63
3.1.1.1.2. Kapsam .....	66
3.1.1.2. Envanter analizi.....	69
3.1.1.2.1. Veri toplama.....	69
3.1.1.2.2. Varsayımlar.....	72
3.1.1.2.3. Atık senaryoları .....	73
3.1.1.2.4. Hesaplama prosedürü .....	74
3.1.1.3. Etki analizi .....	74
<b>3.2. Yöntem .....</b>	<b>74</b>
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>86</b>
4.1. Turbo emiş borusuna ait LCA bulguları .....	86
4.1.1. Turbo emiş borusunun network akım şeması.....	86
4.1.2. Turbo emiş borusun yaşam döngüsü analizi.....	87
4.1.3. Turbo emiş borusunun varsayılan atık senaryoları .....	90
4.2. Tampona ait LCA bulguları.....	92
4.2.1. Tamponun network akım şeması .....	92
4.2.2. Tamponun yaşam döngüsü analizi.....	92
4.2.3. Tamponun varsayılan atık senaryoları .....	95
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....</b>	<b>97</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>99</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>10</b>

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN TAMPON VE TURBO EMİŞ BORUSUNUN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

Yasemin CEYLAN ÖZTÜRK

T.C

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman :Yrd. Doç. Dr. Ahmet KILIÇ  
İkinci Danışman :Yrd. Doç. Dr. Aliye Suna ERSES YAY

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinin yan sanayilerinde, alüminyum alaşımından üretilen turbo emiş borusu ve plastik matrisli kompozit malzemeden üretilen tamponun yaşam döngüsü analizi yapılmıştır. Turbo emiş borusu ve tampon için karakterizasyon ve zarar etki değerlendirmesi yapılarak ağırlıklı olarak çevresel zarar etkisinin her iki ürün için üretim aşamasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca farklı oranlarda atık senaryoları oluşturularak hem turbo emiş borusu hem de tampon için çevreye daha az zarar veren en iyi atık senaryosu saptanmıştır. Sistemdeki envanter analizleri, atık senaryoları, etki değerlendirme işlemleri ISO 14040 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Standardına uygun olarak üretilmiş olan SimaPro 7.3.2 adlı bir yazılımda IMPACT 2002+ metodu seçilerek gerçekleştirilmiştir.

**2012, 103 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler** : ISO 14040, Yaşam Döngüsü Analizi, SimaPro 7.3.2, Otomotiv Endüstrisi, Alüminyum Alaşımı, Kompozit Malzeme

## ABSTRACT

Master of Science

### LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BUMPER AND TURBO SUCTION TUBE USING IN AUTOMOTIV INDUSTRY

Yasemin CEYLAN ÖZTÜRK

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Ahmet KILIÇ  
Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. Aliye Suna ERSES YAY

In this thesis, matrix composite bumper made of plastic and the aluminum alloy turbo suction tube in two different automotive supply industry is made for automotive industry is evaluated from Life Cycle Analysis criteria. During the production phase was found to be the effect of environmental damage for both products mainly is being made damage assesment and characterization for bumper and turbo suction tube. also scenario was the best waste for less to the environment both bumper and turbo suction tube by genareting waste scenarios in different proportions. Inventory analysis, waste scenarios, assessment and comparing operations in the system are done by using software entitled with is being selected IMPACT 2002+ method inSimapro 7.3.2 which is developed as appropriate with ISO 14040 Life Cycle Assessment standard.

**2012, 103 Pages**

**Keywords** : ISO 14040, Life Cycle Assessment (LCA), SimaPro 7.3.2, Automotive Industry, Aluminum Alloy, Composite Material



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Üretim sürecinde malzeme kullanımı.....	2
Şekil 1.2. Yaşam döngüsü ve tasarım amaçları ilişkisi.....	4
Şekil 1.3. ISO 14000 ürün değerlendirme standartları.....	9
Şekil 1.4. ISO 14000 modeli.....	10
Şekil 1.5. Yaşam Döngüsü Analizi'nin safhaları.....	12
Şekil 1.6. LCA'nın aşamaları ve sınırları.....	13
Şekil 1.7. LCA'nın uygulama alanlarına göre kullanım sıklığı.....	14
Şekil 1.8. Tasarım aşamasının fonksiyonları olarak tasarım seçenekleri ve LCA çözümleri.....	18
Şekil 1.9. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi'nin yapısı ve bölümleri.....	21
Şekil 1.10. Yaşam döngüsü süreçlerinde girdiler ve çıktılar.....	25
Şekil 1.11. Yaşam Döngüsü Analizi'nde etki değerlendirme adımı.....	28
Şekil 1.12. LCA'nın uygulama alanları.....	34
Şekil 1.13. Çevre etiketinin uygulama adımları.....	38
Şekil 1.14. AB çevre etiketi logosu.....	38
Şekil 1.15. Çevresel performans ve pazarlama potansiyeline bağlı ana ürün stratejileri.....	41
Şekil 1.16. IBM tarafından üretilen PVC monitörler için üç farklı bertaraf senaryosu.....	43
Şekil 1.17. Alümina eldesi.....	53
Şekil 1.18. Alüminyum eldesi.....	53
Şekil 1.19. Geri dönüşen alüminyumun uygulama sayısına bağlı olarak ortalama enerji ihtiyacı.....	54
Şekil 1.20. SMC hazır kalıplama bileşimi üretimi.....	56
Şekil 1.21. SMC hazır kalıplama bileşimi.....	56
Şekil 1.22. SMC hazır kalıplama yöntemi.....	57
Şekil 1.23. Kompozit malzemeler için geri dönüşüm prosesleri.....	58
Şekil 1.24. Sıvılaştırılmış yatak geri dönüşüm işlemi.....	59
Şekil 1.25. Piroliz süreci.....	60
Şekil 1.26. Tamponun geri dönüşümü.....	60
Şekil 3.1. Tampon ve turbo emiş borusunun LCA akım şeması.....	64
Şekil 3.2. 2,3 kg'lık turbo emiş borusu.....	65
Şekil 3.3. 6 kg'lık otomotiv tamponu.....	65
Şekil 3.4. Turbo emiş borusunun LCA akım şeması.....	66
Şekil 3.5. Otomotiv tamponun LCA akım şeması.....	68
Şekil 3.6. Basınç kalıplama.....	69
Şekil 3.7. Basınç kalıplama döngüsü.....	69
Şekil 3.8. SimaPro 7.3.2. yazılımının yapısı.....	75
Şekil 3.9. IMPACT 2002+ çatısının kapsamlı planı.....	79
Şekil 3.10. Turbo emiş borusunun network şeması.....	86
Şekil 3.11. Zarar sınıflarına göre turbo emiş borusuna ait orta nokta kategorilerinin değerlendirilmesi.....	88
Şekil 3.12. Zarar sınıflarına göre turbo emiş borusuna ait son nokta kategorilerinin değerlendirilmesi.....	89
Şekil 3.13. Orta nokta kategorilerine göre turbo emiş borusuna ait farklı atık atık senaryolarının karşılaştırılması.....	90
Şekil 3.14. Son nokta kategorilerine göre turbo emiş borusuna ait farklı atık senaryolarının karşılaştırılması.....	91

<b>Şekil 3.15.</b> Tamponun network akım şeması.....	92
<b>Şekil 3.16.</b> Zarar sınıflarına göre tampona ait orta nokta kategorilerinin değerlendirilmesi.....	93
<b>Şekil 3.17.</b> Zarar sınıflarına göre tampona ait son nokta kategorilerinin değerlendirilmesi .....	94
<b>Şekil 3.18.</b> Orta nokta kategorilerine göre tampona ait farklı atık senaryolarının karşılaştırılması.....	95
<b>Şekil 3.19.</b> Son nokta kategorilerine göre tampona ait farklı atık senaryolarının karşılaştırılması.....	96

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. ISO 14040 Çevre Yönetimi—LCA serisi.....	17
Çizelge 1.2. LCA'nın bazı uygulamalarındaki detay seviyesi .....	18
Çizelge 1.3. Saf alüminyum bileşimi .....	52
Çizelge 1.4. Pigmentli SMC formülasyonu .....	56
Çizelge 3.1. 1 kg'lık turbo emiş borusu için kullanılan malzemelerin miktarı ve taşıma verileri.....	70
Çizelge 3.2. 1 kg'lık turbo emiş borusu üretiminde uygulanan prosesler .....	70
Çizelge 3.3. 1 kg'lık otomotiv tamponu için kullanılan malzemelerin miktarı ve taşıma verileri .....	71
Çizelge 3.4. 1 kg'lık otomotiv tamponu için tüketilen enerji miktarı .....	72
Çizelge 3.5. 1 kg'lık otomotiv tamponun üretim prosesleri sonucu oluşan atıklar .....	72
Çizelge 3.6. Otomotiv tamponun atık senaryoları .....	73
Çizelge 3.7. Turbo emiş borusunun atık senaryoları .....	74
Çizelge 3.8. 'Ecoinvent' veri tabanındaki kategori ve alt kategoriler .....	77
Çizelge 3.9. 'Ecoinvent' veri tabanındaki etki değerlendirme yöntemleri için kullanılan kategori ve alt kategoriler .....	78
Çizelge 3.10. Batı Avrupa dört zarar kategorileri ve birimleri.....	80
Çizelge 3.11. IMPACT 2002+'de kullanılan karakterizasyon faktörleri, referans maddeler ve hasar üniteleri için ana kaynaklar .....	85

## KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
A.Ş.	Anonim Şirketi
BEES	Building for Environmental and Economic Sustainability (Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik)
BRE	Building Research Establishment (Yapı Araştırma Kurumu)
BREEAM	BRE Environmental Assessment Method (Yapı Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Yöntemi)
BM	Birleşmiş Milletler
BMC	Bulk Molding Compound (Hazır Kalıplama Tekniği)
Bq	Bequerel radyoaktivite birimi
BSRIA	Building Services Research and Information Association (Yapı Servisleri Araştırma ve Danışma Kurumu)
CML	The Centre of Environmental Science (Çevre Bilim Merkezi)
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
CFC	Chloro Floro Carbon (Kloro Floro Karbon gazları)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol)
ÇE	Çevresel Etkiler
CRP	Kavramlarla İlgili Programlar
DALY	Disability Adjusted Life Years (Yetersizliğe Ayarlanmış Yaşam Yılları)
DW	Disability weight (Bağıl Yetersizlik Ağırlığı)
EA	Energy Audit (Enerji Denetleme)
EAPS	European Association for Population Studies (Nüfus Araştırmaları için Avrupa Birliği)
EDIP	Environmental Design of Industrial Products (Endüstriyel Ürünlerin Çevre Tasarımı)
EPA	Environmental Protection Agency (Çevresel Koruma Derneği)
EPD	Environmental Product Declarations (Çevresel Ürün Deklarasyonu)
EPS	Environmental Priority Strategies (Çevresel Öncelik Stratejileri)
EMA	Enerji ve Malzeme Analizi
EQ	Eco-Quantum
FEFCO	The European Federation of Corrugated Board Manufacturers (Oluklu Mukavva Üreticilerinin Avrupa Federasyonu)
FFCA	Tam Yakıt Döngüsü Değerlendirmesi
GB	Green Building (Yeşil Yapı)
GBC	Green Building Challenge (Yeşil Bina Mücadelesi)
IBM	İnternational Business Machines (Uluslararası İş Makinaları)
IISBE	International Initiative for a Sustainable Built Environment (Sürdürülebilir Bir Yapma Çevre için Uluslararası Başlangıç)
ISO	International Standards Organization (Uluslararası Standartlar Örgütü)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli)
ISO	International Standards Organization (Uluslararası Standartlar Örgütü)
IMPACT	Impact Assessment of Chemical Toxics (Kimyasal Toksiklerin Etki Değerlendirmesi)
IVAM	Instituto Valenciano de Arte Moderno (Modern Sanat Valencia Enstitüsü)

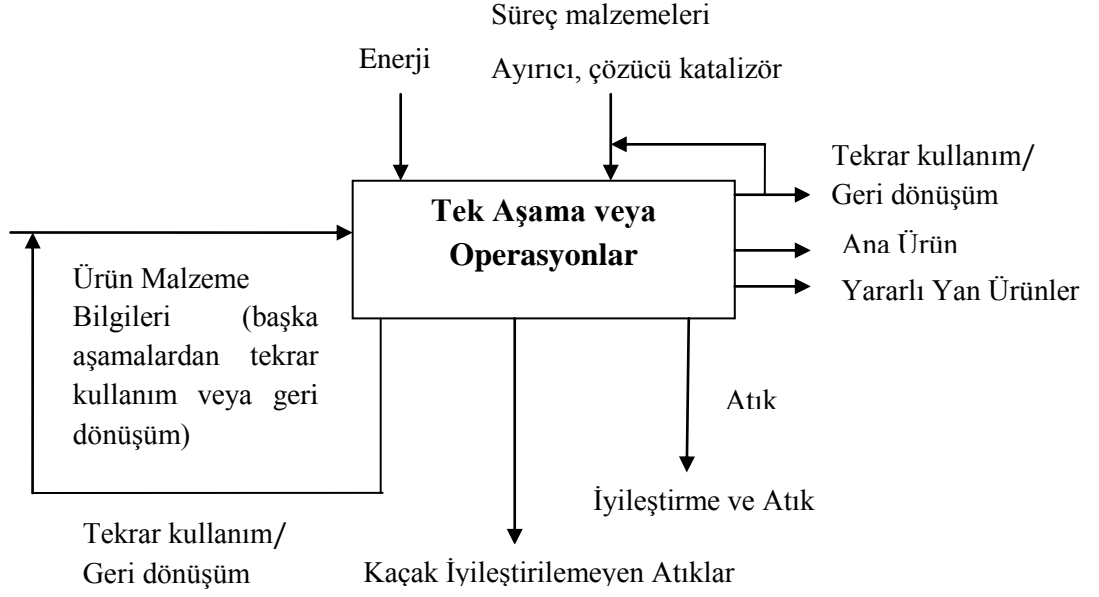
LCA	Life Cycle Assessment (Yaşam Döngü Değerlendirmesi)
LCI	Life Cycle Inventory (Yaşam Döngüsü Envanteri)
LCIA	Life Cycle Impact Assessment (Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi)
LEED	Leadership in Energy and Environment Design (Enerji ve Çevre Tasarımında Lider)
MJ	Mega Joule (Enerji Birimi)
NAHB	National Association of Home Builders (Ev Üreticileri Ulusal Birliği)
NIST	National Institute of Standards and Technology (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü)
Pre consultants	Product Ecology Consultants (Ürün Ekoloji Danışmanları)
PC	Personel Computer (Kişisel Bilgisayar)
PDF	Potentially Disappeared Fraction (Potansiyel Olarak Kaybolan Kısım)
PM	Paticulate Matter (Partikül Madde)
PVC	Polyvinyl Chloride (Polivinil Klorür)
RA	Risk Analizi
REPA	Kaynak ve Çevresel Profil Analizleri (Resouce and Environmental Profile Analysis)
SETAC	Environmental Toxicology and Chemistry (Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği)
SimaPro	System for Integrated Environmental Assessment of Products (Ürünlerin Bütünleşmiş Çevresel Değerlendirme Sistemi)
SMARTWaste	Site Methodology to Audit, Reduce and Target Waste (Atık Denetleme, Azaltma ve Hedefleme için Alan Yöntemi)
SMC	Sheet Molding Compound (Hazır Kalıplama Tekniği)
TBPB	Tertiary—Butyl Peroxybenzoate (Üçüncül—Bütül Peroksibenzoat)
TEAM	Tool for Environmental Analysis and Management (Çevresel Analiz ve Yönetim Aracı)
TEG	Triethylene Glycol (Trietilen Glikol)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TS	Türk Standartları
USEPA	US Environmental Protection Agency (ABD Çevre Koruma Ajansı)
UNEP	United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
USGBC	The U. S. Green Building Council (Birleşik Devletler Yeşil Yapı Konseyi)
US	United States (Amerika Bileşik Devletleri)
UV	Ultraviolet (Ultraviyole)
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirme
YDE	Yaşam Döngüsü Envanteri (Life Cycle Inventory - LCI)
YLD	Years of Disability (Yetersizlik Yılları)
YOLL	Years of Life Lost (Kaybedilen Yaşam Yılları)

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu beslenme, barınma, giyinme gibi yaşamsal ihtiyaçlarını karşılarken, doğanın kendisine sunduğu kaynaklardan yararlanır. Bu kaynaklar doğanın kendi dengesi çerçevesinde yenilenebilirken, aşırı ve bilinçsiz tüketim bu dengeyi bozar, sonuçta insanlar ve doğa açısından geri dönüşü zor durumlar ortaya çıkar. Bu nedenle mevcut doğal kaynakların nüfus artışına paralel olarak etkin ve verimli bir şekilde kullanımının sağlanması gereklidir.

Doğal kaynakların bir gün tükenebileceği bilincinde olan toplumlar, kaynakları kullanırken gelecek kuşakları düşünmek gerektiğini dikkate alarak yerel önlemleri zamanında alırlar. Aksi takdirde çevre bilincine sahip olmayan toplumların kaynakları hızla tükenmeye ve yaşadıkları ortam daha sağlıksız hale gelmeye mahkumdur. Bu sadece yaşanan ortamda değil, dünyadaki diğer toplumlar açısından da risk oluşturur. Çünkü çevre kirliliğinin sınırları yoktur ve insanların yaşamak için ortak kullandıkları hava, su ve topraktaki kirlilik sınır tanımaksızın tüm dünyaya yayılabilir.

Çevre bilinci gelişmiş ülkelerde yasa ve yönetmelikler atıkların kontrolünü zorunlu kılmaktadır. Yasal düzenlemelerin esası olabildiğince az atık oluşturulması ve bunun üretimden tüketimin son halkasına kadar planlanması; atıkların geri toplanıp ikincil hammadde ve/veya başka amaçlara yönelik olarak yeniden kullanılması; toprağa, suya, havaya, canlılara ve yaşam alanlarına zarar vermeyecek şekilde bertarafının gerçekleştirilmesi temeline dayanır. Doğanın dengesi çok hassas olduğundan üreticilerin süreç geliştirme ve ürününü satış sonrasında toplama, geri dönüşüm ya da ürünün yok edilmesi konusunda sorumluluk sahibi olmaları gerekmektedir. Kanun ve yönetmeliklerin uygulanabilirliğinin sağlanması ve bu esnada karşılaşılan sorunların aşılması için resmi kuruluşlar, belediyeler, özel idareler ve tüketicilerin bu faaliyetleri desteklemeleri ve üstlerine düşen görevleri yerine getirmeleri gerekir. Şekil 1.1.'de üretim sürecinde malzeme kullanımı ve atık kullanımları şematik olarak görölmektedir. (Sünbül, 2006).



**Şekil 1.1.** Üretim sürecinde malzeme kullanımı (Sünbül, 2006)

Teknolojinin hızla gelişmesi ile hava, su, toprak ve yeraltı zenginlikleri gibi doğal kaynakların bilinçsiz kullanımları sonucunda küresel ısınma, sera etkisi, ozon tabakasının incilmesi, asit yağmurlarının oluşması, çölleşme ve toprak erozyonu gibi pek çok sorun ortaya çıkmıştır. Bu etkilere bağlı olarak “sürdürülebilirlik” kavramının önemi artmıştır (Çokaygil, 2005).

Gerçek bir sürdürülebilirlik için ekonomi, çevre ve toplumu kapsayan “üçlü sacayağı” yaklaşımının uygulanması zorunludur. Toplumlar kısa süreli gereksinimleri değil uzun süreli gereksinimlerini de düşünmek zorundadır. Sürdürülebilir gelişim için ekonomik verimlilik artırılmalı, ekolojik sistemler korunmalı ve tüm insanların refahı artırılmalıdır.

Sürdürülebilir Gelişim aşağıdaki iki kavramı içermektedir:

- İhtiyaçlar kavramı, öncelik verilmesi gerekli olan dünya fakirlerinin gerekli ihtiyaçları,
- Teknoloji ve sosyal organizasyonların günümüz ve gelecek ihtiyaçlarının çevrenin yetenekleri ile buluşmasında sınırlamaları kabul etme düşüncesi (Sünbül, 2006).

Sürdürülebilirlik, bir yaşam döngüsü yaklaşımını gerektirir. Yaşam döngüsü düşüncesinin ana fikri çevresel açıdan üretim, tüketim, kullanım ve atık aşamalarını içeren zincirin tüm aşamalarını kapsar. Bu bütünsel ve analitik bir sistem anlamına gelmekte olup, ürünün yaşamı boyunca olan farklı paydaşları arasındaki işbirliğini zorunlu kılar (Çokaygil, 2005).

Çevresel ürün yaşam döngü değerlendirmesi, beşikten mezara yaklaşımı içindeki materyaller ve servislerin yaşam döngüleri ile ilişkili çevresel sorumlulukları tanımlamak için bir iskelet sağlar. Çevreye uygunluk ihtiyaçları, yaşam döngüsü analizinde saptanmış olup üretim ve süreç için potansiyel oluşturmaktadır. LCA malzeme, enerji kullanımı, üretim yöntemi ve süreci, dağıtım, geri dönüşüm ve atık yok etme tercihleri konularını içermektedir. LCA, kaynak kullanımının ve çevresel izlerin kapsamlı çevresel sonuçlarını en aza indirmek için fırsatları sistematik olarak tanımlar ve değerlendirir.

Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (Environmental Toxicology and Chemistry) SETAC'ın çabaları yanında Amerika Birleşik Devletleri Çevresel Koruma Ajansı (US Environmental Protection Agency) USEPA'nın LCA metodolojisinde yol gösteren araştırması ile kabul edilen dört bölümlü yaklaşım:

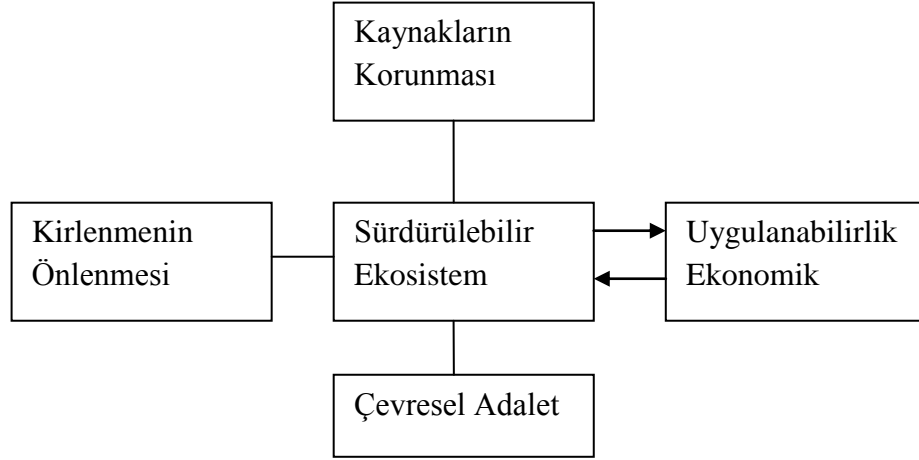
1. Özellikle çalışmanın amacını belirtme ve uygun bir şekilde çalışmanın sınırlarını tanımlama (Amaç ve Hareket Serbestliği Tanımı),
2. Enerji kullanımını, işlenmemiş materyal girdilerini ve yaşam döngüsünün her seviyesiyle ilişkili çevresel izleri ölçmek (Yaşam Döngüsü Envanteri (Life Cycle Inventory)—LCI),
3. İnsan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri değerlendirmek için envanter sonuçlarını yorumlamak (Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (Life Cycle Impact Assessment)—LCIA),
4. Yaşam döngüsü yanında enerjiyi, materyal girdilerini veya çevresel etkileri azaltmak için fırsatları değerlendirmek (İlerleme Analizi veya Yorum) (Curran, 2004).

Çevresel yönetimin felsefedeki değişimi dünya ekonomisinin hızlı küreselleşmesi ve organizasyonların çevresel performanslarına bağlı ticari engellerin tehdidi sayesinde hız kazanmıştır. Çevresel yönetimi standart bir yapıya sokma çabasıyla ISO, çevresel performanslarını artırmak için organizasyonlar tarafından kullanılan dünya çapında standartlar geliştirmiştir. Bu standartlar ISO 14000 çevresel yönetim adı altında gruplanmış ve organizasyon içerisinde çevresel yönetim sistemlerinin nasıl yerine getirileceğini içeren yöntemler, ürünlerin çevresel sınıflandırılması üzerine kılavuzlar ve bir ürün veya servisin çevresel sorumluluğunu değerlendirmek için yaşam döngü değerlendirmesi adıyla bilinen metodu içermektedir (Ross ve Evans, 2002).

Hükümetler, çevreye uyumluluk ile ilgili markalara teknik zorunluluklar ve şartlar getirmektedir. Bunun için ayrıca standart yönetim sistemleri geliştirilmiştir. Şekil 1.2.'de yaşam döngüsünün tasarım amaçları ile ilişkisi görülmektedir. Günümüzde uygulanan standart yönetim sistemleri birçok kaynağa dayanmaktadır. Bunlardan biri,



“Sürdürülebilir Kalkınma için İş Konseyi” kuruluşu olup, çevresel performansı arttırmak ve uluslararası standartlara uymak konularında endüstriyi desteklemektedir (Sünbül, 2006).



Şekil 1.2. Yaşam döngüsü ve tasarım amaçları ilişkisi (Sünbül, 2006)

Günümüz koşullarında geri kazanım büyük önem taşımaktadır. Çevre kirliliği ve hammadde tüketiminin artmış olması, tüketici, üretici ve yönetimleri geri kazanım konusunda bilinçli davranmaya zorlamaktadır. Sürdürülebilirlik, kaynakların akıllı bir şekilde kullanımı ile sağlanabilmektedir. Endüstriyel tasarım açısından, “Ürün Yaşam Döngü Tasarım” olarak adlandırılan ürün ömründe geri dönüşüm önemli bir yer almaktadır. Gerek kaynakların korunması, gerekse sürdürülebilirlik yaklaşımlarıyla ürünlerin ikinci yaşamları tasarım sürecinde önemli bir unsur oluşturmaktadır (Sünbül, 2006).

1983 “Brundtland Raporu” ile “Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Gelişim Komisyonu” tarafından sürdürülebilir çevreye yönelik bir rapor hazırlanmış ve buna yönelik yaptırımların yer aldığı çevresel kanunlar “Birleşmiş Milletler” tarafından kabul edilmiştir. Bu tarihten başlayarak kaynakların korunması, geri dönüşüm ve tekrar kullanma faaliyetlerinde artış görülmektedir (Sünbül, 2006).

Tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım kapsamı, giderek genişleyen ve iç içe geçmiş kavramlar dizisidir. Bu kavramlar kısaca aşağıdaki şekilde tanımlanabilirler:

1- *Tekrar kullanım*, atıkların toplanması ve temizlenmesi dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü dolana kadar defalarca kullanılmasıdır. Örneğin cam şişelerin içerisindeki maddenin tüketilmesinden sonra temizlenmesi ve aynı amaç için kullanılması gibi.

2- *Geri dönüşüm*, atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikincil hammadde olarak üretim sürecine sokulmasıdır. Örneğin, kırık cam şişelerin eritilerek hammadde haline getirilmesi, kırık camın zımpara kağıdı üretiminde kullanılması, atık plastiklerden tekrar plastik mamuller elde edilmesi gibi.

3- *Geri kazanım*, geri dönüşüm ve tekrar kullanımı kapsayan bir üst kavramdır. Geri dönüşüm ve tekrar kullanımın ötesinde, atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemler ile başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir. Örneğin yakma, proliz, kompost oluşturma gibi işlemler geri dönüşüm ve tekrar kullanım kapsamına girmekle beraber, geri kazanım kapsamında değerlendirilirler.

Geri kazanım, yukarıdaki tanımlara uygun olarak gerekli olan çok yönlü ekonomik, yönetsel ve teknolojik faaliyetleri kapsar. Geri kazanım hedefleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1- *Kaynak koruma*: Atıkların ikincil hammadde olarak devreye sokulup, birincil hammaddelerin tüketim hızını azaltmak.

2- *Çevre koruma*: Özellikle yoğun nüfusa sahip metropol bölgelerde giderek azalan düzenli depolama alanlarının ve düzensiz olarak çevreye saçılan atıkların doğa üzerinde yarattığı etkiyi en aza indirmek.

3- *Enerji kazanımı*: Atık maddelerin enerji içeriğinin kullanılması ile yenilenemez enerji kaynaklarının tüketim hızını azaltmak (Sünbül, 2006).

Özellikle 1970'lerde gündeme gelmeye başlayan petrol krizinden sonra otomobil endüstrisinde yakıt tasarrufu üzerinde durulmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda otomobilde kullanılan malzemelerin ağırlıkları üzerine odaklanması ile plastik ve alüminyum malzemelerinin ilgi odağı olmasına sebep olmuştur.

Tüm malzeme atıklarının çevreye olumsuz etkilerinin bulunmasıyla birlikte özellikle plastik malzemelerin doğada en az 100 yılda kaybolması, çevre korunması açısından olumsuz etkiler doğurmaktadır. Tasarım sürecine çevresel açıdan yaklaşılması ile geri dönüşüm önem kazanmıştır. Ekolojik tasarım anlayışı ve sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarının sonucu olarak, çevre korumaya yönelik tasarım kıstasları oluşturulmuştur. Geri dönüşüm ve tekrar kazanım bu kıstaslar arasında önemli yere sahiptir (Sünbül, 2006).

Bu çalışmada, otomotiv yan sanayide üretilen plastik içerikli kompozit malzemeden üretilen otomotiv tamponu ve alüminyum alaşımından üretilen turbo emiş borusu ele alınmıştır. Hammadde eldesinden kullanılan enerjiye, üretimden tüketime ve atık

yönetim senaryolarına kadar olan yaşam döngülerinin, SimaPro 7.3.2 adlı lisanslı bir yazılım programı kullanılarak yaşam döngüsü analizi yapılmıştır.

### **1.1. ISO 14000**

Çevre sorunlarının nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşmeyle birlikte artması çevre için koruma ve iyileştirme çalışmalarının hemen yapılması gereğini gözler önüne sermiştir. Artan nüfusa iş yaratma, besin sağlama ve ülkelerin kalkınma talepleri de dikkate alındığında ekonomiden toplum bilimlerine kadar birçok noktada hayatımızı etkileyen çevre sorunları tüm dünya devletlerini yeni çözümler üretmeye itmiştir. Özellikle çevrenin daha az kirletilerek üretim yapılmasına olanak sağlayan yöntemlerin araştırılması zorunlu olmuştur (Sucu, 2006).

1970’li yıllarda ekonomik kalkınmanın yanında çevre kalitesinin de korunmasına çözüm olarak “Sürdürülebilir Kalkınma” felsefesi tartışılmaya başlandı. Bu çözüm, doğal kaynakların bilinçli tüketiminin sağlanması esasına dayanıyordu. Bu tartışmalardan çıkan sonuçlardan hareketle yönetmelikler ve standartlar gibi uygulama şartlarını içeren yayınlar hızla çoğaldı. ISO Eylül/1996’da çevre politikası, çevre amaçları ve çevre programları doğrultusunda çevre boyutlarının kontrolü ve bertarafına yönelik şartları içeren özellikle kalkınmakta olan ülkelere uygun ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemleri standardını yayınladı. Bu standart serisi ürünün hammaddeden başlayıp nihai ürün haline getirilerek müşterilere sunulmasına kadar geçen sürecin her aşamasında çevresel faktörlerin belirlenmesi, bu faktörlerin gerekli iyileştirmeler ve önlemler ile kontrol altına alınarak çevreye verilen zararın en aza indirilmesini sağlar. ISO 14000 bir ürün standardı değil sistem standardıdır ve ne üretildiğinden ziyade, nasıl üretildiği ile ilgilenir (Sucu, 2006).

#### Çevre Yönetim Sistemi:

- TSE EN ISO 14001, (2005) Çevre Yönetim Sistemi—Özellikler ve Kullanım Kılavuzu
- TSE EN ISO 14004, (2004) Çevre Yönetimi—Çevre Yönetim Sistemleri—Prensip Sistemler ve Destekleyici Teknikler için Genel Kılavuzu

#### Çevre Denetimi:

- TS EN ISO 14010, Çevre Yönetimi—Çevre Denetim Kılavuzu—Çevre ile İlgili Denetimin Genel Prensipleri
- TS EN ISO 14011, Çevre Yönetimi—Çevre Denetim Kılavuzu—Denetim Usulü—Kısım 1: Çevre Yönetim Sistemlerinin Denetimi

- TSE EN ISO 14012 Çevre Yönetimi Çevre Denetçilerinin Sahip Olması Gereken Özellikler
- TS EN ISO 14015, Çevre Yönetimi—Alan ve İşletmelerin Çevresel Değerlendirmesi
- EN ISO 19011, 2000 Kalite ve Çevre Tetkiki İçin Kılavuz

#### Çevre Performans Değerlendirme:

- TS EN ISO 14031, Çevre Yönetimi—Çevre Performans Değerlendirmesi Kılavuzu
- TS EN ISO 14032, Çevre Yönetimi—Çevre Performans Değerlendirme Örnekleri

#### Çevre Etiketleme:

- TS EN ISO 14020, Çevre Etiketleri ve Beyanları—Genel Prensipler
- TS EN ISO 14021, Çevre Yönetimi—Çevre ile İlgili Etiketleme—Çevre ile İlgili İddiaların Özbeyanı—Terimler ve Tarifler
- TS EN ISO 14022, Çevre Etkileri ve Beyanları—Semboller
- TS EN ISO 14023, Çevre Etkileri ve Beyanları—Deneme ve Doğrulama Metodolojileri
- TS EN ISO 14024, Çevre Yönetimi—Yaşam Döngüsü Değerlendirme—Genel Prensipler ve Uygulamalar
- TS EN ISO 14025, Çevre Etiketleri ve Deklarasyonlar —Tip III Çevre Performans Değerlendirme Rehberleri

#### Yaşam Döngüsü Değerlendirme:

- TS EN ISO 14040, 1998 Çevre Yönetimi—Yaşam Döngüsü Değerlendirme Genel Prensipler ve Uygulamalar
- TS EN ISO 14041, Çevre Yönetimi—Yaşam Döngüsü Değerlendirme—Amaç, Kapsam, Tanımlar ve Demirbaş Analizi
- TS EN ISO 14042, Çevre Yönetimi—Yaşam Döngüsü Değerlendirme —Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme
- TS EN ISO 14043, Çevre Yönetimi—Yaşam Döngüsü Değerlendirme—Yaşam Döngüsü Yorumlama
- TS EN ISO 14047, Çevre Yönetimi—Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme—TS EN ISO 14042 Uygulama Örnekleri
- TS EN ISO 14048, Çevre Yönetimi—Yaşam Döngüsü Değerlendirme—Yaşam Döngüsü Değerlendirme Veri Belgelendirme Düzeni

- TS EN ISO 14049, Çevre Yönetimi—Yaşam Döngüsü Değerlendirme—TS EN ISO 14001 Uygulama Örneklerinin Amaç ve Kapsam Demirbaş Analizi

#### Ürün Standartlarında Çevre Unsurları:

- TS EN ISO 14060, Çevre Yönetimi—Mamullerin Çevre Veçhelerinin (Yönlerinin) Mamul Standartlarına Dahil Edilmesiyle İlgili Kılavuz
- TS EN ISO 14061, TS EN ISO 14001 ve TS EN ISO 14004 ÇYS standartlarının kullanımında Ormancılık Organizasyonlarına Yardım için Bilgi
- TS EN ISO 14062, Çevre Yönetimi—Ürün Tasarımı ve Geliştirmeye Çevre Unsurlarının Entegrasyonu
- TS EN ISO 14050, Çevre Yönetimi—Terimler, Tanımlar (Sözlük)

(Sucu, 2006; Mindıklıoğlu, 2007)

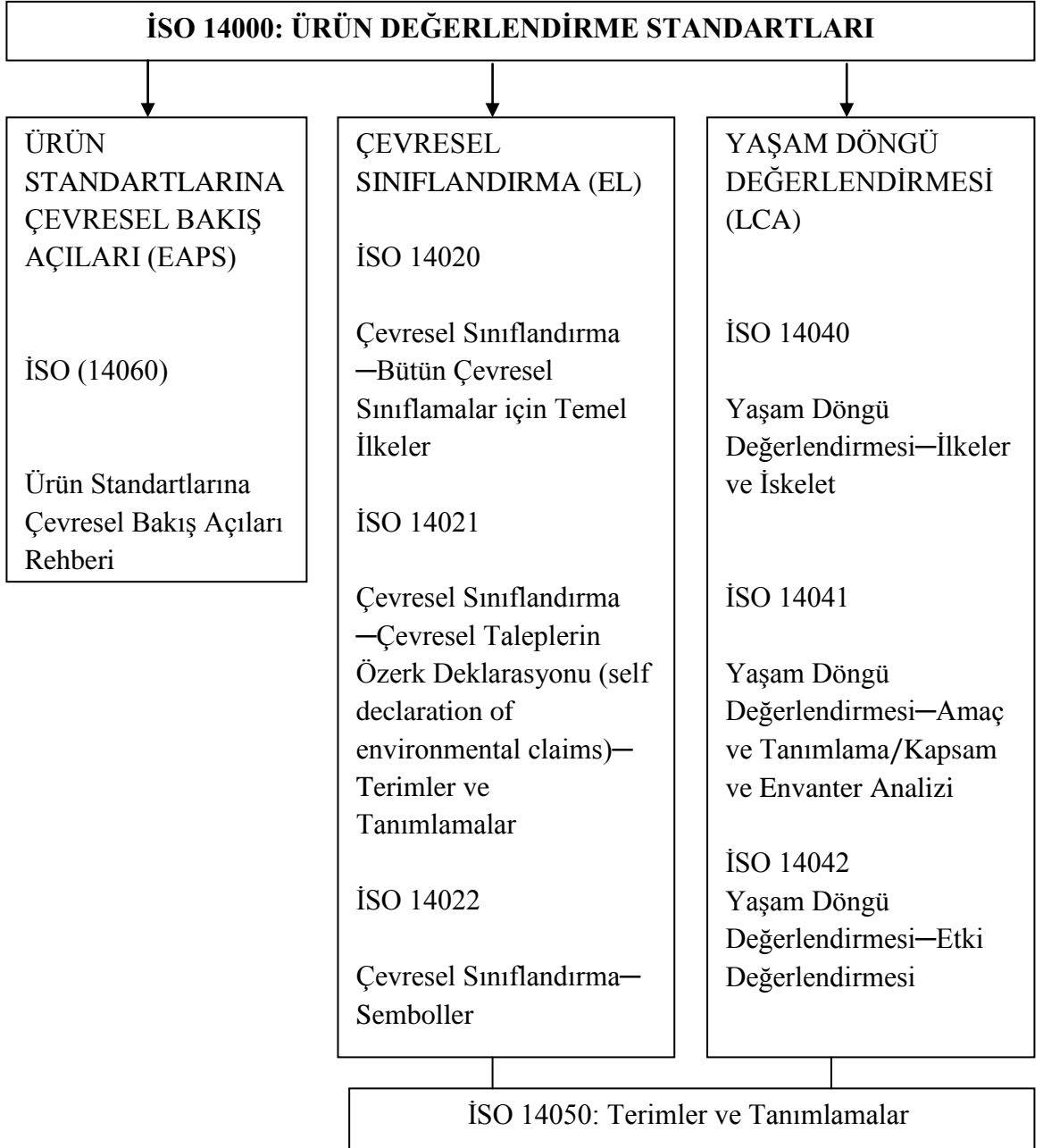
Sözö edilen standartlar sorunların belirtilerini ele alma yerine kaynaklarında çözmeye yönelmişlerdir. ISO 14000 standartların özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

1. Gönüllölük
2. Sürekli Gelişme ve Ar-Ge'ye Verilen Önem
3. Açık Sistem Anlayışı
4. Sistematik Yaklaşım

ISO 14000 serisi standartları hazırlayan komitelerin özellikle dikkate aldıkları bazı temel ilkeler vardır. Bu ilkeler aşağıda sıralanmıştır (Sucu, 2006).

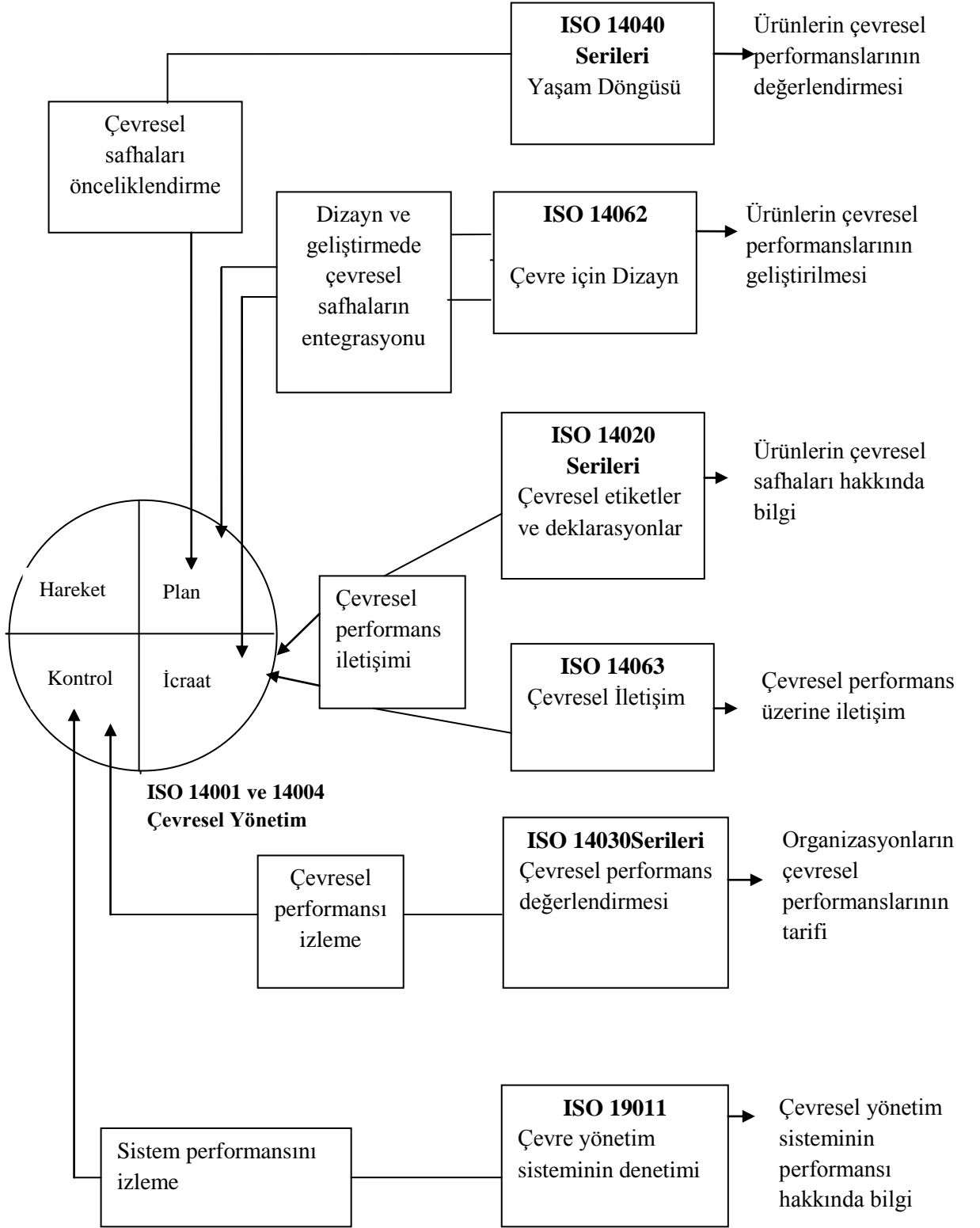
1. Daha iyi bir çevre yönetimi sağlanması
2. Bütün ölkelerde uygulanabilirlik
3. Kamunun ve standartları kullananların çıkarlarının gözetilmesi
4. Düşük maliyetlere yol açmaları ve dünyanın her yerinde her boy işletme için kolaylıkla uygulanabilirlik
5. Esnekliğin içsel ve dışsal olarak kontrol edilebilirliği
6. Bilimsel bir tabana dayanması
7. Pratik, yararlı ve kullanılabilir olmaları

Şekil 1.3'de ISO 14000 ürün değerlendirme standartları gösterilmektedir. 1404x alt serileri LCA'yı yönetir ve 1402x alt serileri eco—sınıflandırma'yı yönetir.



Şekil 1.3. ISO 14000 ürün değerlendirme standartları (Sünbül, 2006)

Şekil 1.4’de ISO 14000 modeli görülmektedir. ISO 14000’in uygulanmasında da üst yönetimin prensip uygulama kararı alması gerekmektedir.



Şekil 1.4. ISO 14000 modeli (Sünbül, 2006)

## 1.2. LCA

Teknolojinin gelişimine yönelik verilen doğru kararlar aşamasında göz önünde bulundurulması gereken başlıklardan biri de çevredir. Çevre bilincinin artmasıyla birlikte endüstriler ve iş çevreleri, faaliyetlerinin çevreye ve topluma olan etkilerini değerlendirmeye başlamışlardır. Ürün ve süreçlerin çevresel performanslarının çok önemli bir konu haline gelmesi, şirketleri bunların çevresel etkilerini minimize etme yollarını araştırmaya yöneltmiştir. Birçok firma çevresel performanslarını geliştirmek için kirlilik önleme stratejilerinin ve çevre yönetim sistemlerinin kullanımını avantajlı bulmaktadır.

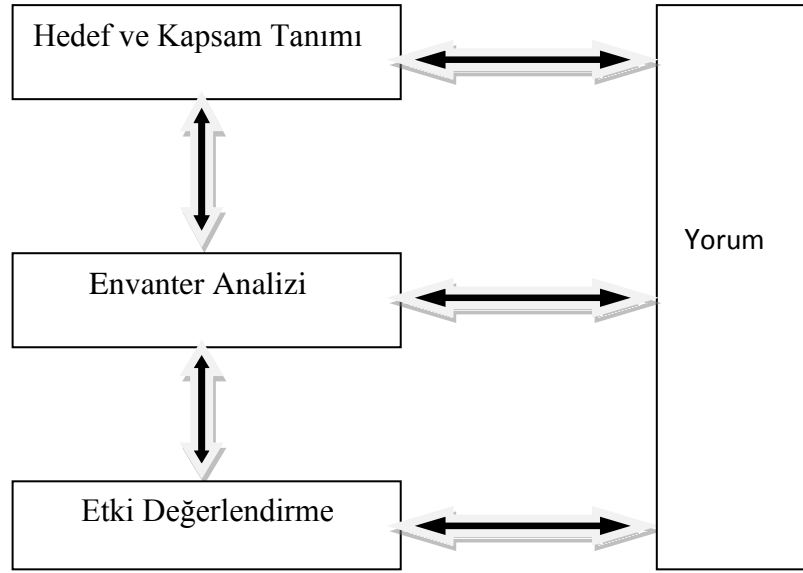
Bir ürünün hammaddelerinin çıkarılmasından başlayıp, işlenmesi, paketlenmesi, taşınması, yapımı, kullanımı, gerektiği zamanlarda bakım-onarımı, ömrünü tamamladığında atılması, geri dönüştürülmesi, birtakım işlemlerden geçirilerek yeniden kullanıma hazır hale getirilmesine kadar geçen sürece yaşam döngüsü denir.

Yaşam Döngü Değerlendirmesi 1990'lerden bu yana karar vermeye yönelik kullanılan ve gelişmekte olan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyecek olan potansiyel ekolojik gelişme sahalarının belirlenmesinde diğer yöntemlerle birlikte ele alınmalıdır (Özeler ve Demirer, 2000; Güler 2004; Çokaygil 2005; Sucu,2006; Sünbül,2006).

2000 yılında, Çevresel Toksikoloji ve Kimya Birliği (SETAC) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), dünya genelinde en iyi LCA uygulamasını gerçekleştirmek için bir araya gelmiştir. Şekil 1.5.'de gösterildiği gibi SETAC'ın çalışmaları sonucu, LCA'nın dört aşaması belirlenmiş ve geliştirilmiştir (James, 2003):

- 1) Hedef ve Kapsam tanımı (Goal and Scope Definition)
- 2) Envanter analizleri (Inventory Analysis)
- 3) Etki analizleri (Impact Assessment)
- 4) Yorum (Interpretation)





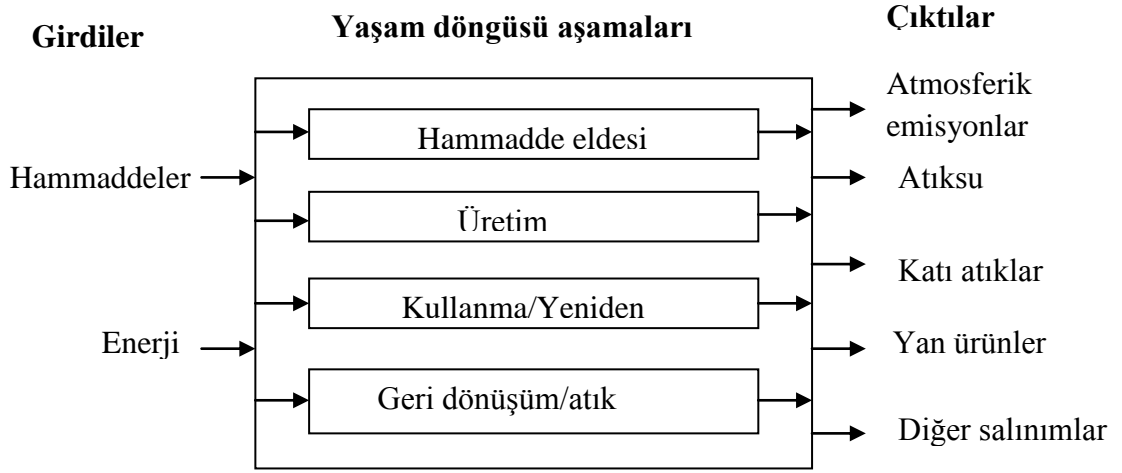
Şekil 1.5.Yaşam Döngüsü Analizi'nin Safhaları (James, 2003)

### 1.2.1. LCA'nın tanımı

TS-ISO 14040/Eylül 1995'de yayınlanan Türk Standardı'nda verilen tarife göre YaşamDöngü Değerlendirmesi; belirli bir malzeme ve enerjiden elde edilen mal ve hizmet sisteminin yaşam döneminde ortaya çıkan ve doğrudan doğruya sisteme atfedilebilen çevre etkilerine ait bilgilerin toplanması ve gözden geçirilmesiyle ilgili bir usuller dizisidir.

Konuyla ilgili yurtdışındaki bazı kuruluşlar ise Yaşam Döngü Değerlendirmesini; çevre dostu—ekonomik ürün ve üretim sistemlerinin tasarımında ve geliştirilmesinde kullanılan sistematik bir yaklaşım olarak tanımlamaktadırlar. Tasarım ve geliştirme sırasında irdelenmesi gereken hususlar, ürün ve üretim sisteminin veya bir prosesin beşikten mezara yani bir ürünün hammaddesinin elde edilmesinden, üretim, kullanım ve bertaraf edilmesine kadar geçen süreç içerisinde çevreye ve doğal kaynakların kullanımına olan etkileridir (Özeler ve Demirer, 2000; Sucu, 2006; Sünbül, 2006).

Kısaca Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi bir eylemin tüm çevresel boyutlarını değerlendiren bir sistemdir. 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. LCA hem doğrudan (üretim aşamasında oluşan emisyonlar ve kullanılan enerji v.s.) hem de dolaylı (hammadde eldesi, ürünün dağıtılması, tüketici tarafından kullanılması ve bertarafı v.s.) etkileri belirlemek ve ölçmek için kullanılmaktadır (Şekil 1.6.) (Çokaygil, 2005).



**Şekil 1.6.** LCA'nın aşamaları ve sınırları (Çokaygil 2005)

LCA'nın sistematik yaklaşımı belirli bir ürün veya sistemin etkilerinin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlar. Belirli bir tesise ve sadece sahada oluşan aktivitelere odaklanan endüstriyel bir prosesin çevresel denetimlerinden farklı olarak LCA firmanın tedarikçileri ve müşterileri ile arasındaki ilişkileri de ele alır. Bunun sonucu, bir ürünün çevresel etkilerinin beşikten mezara kadar olan toplam analizini verir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin önemli bir özelliği, üreticilerin tasarımdan bertarafa kadar ürünlerinden kaynaklanan kirliliğin sorumluluğunu almalarıdır (Çokaygil, 2005).

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ile

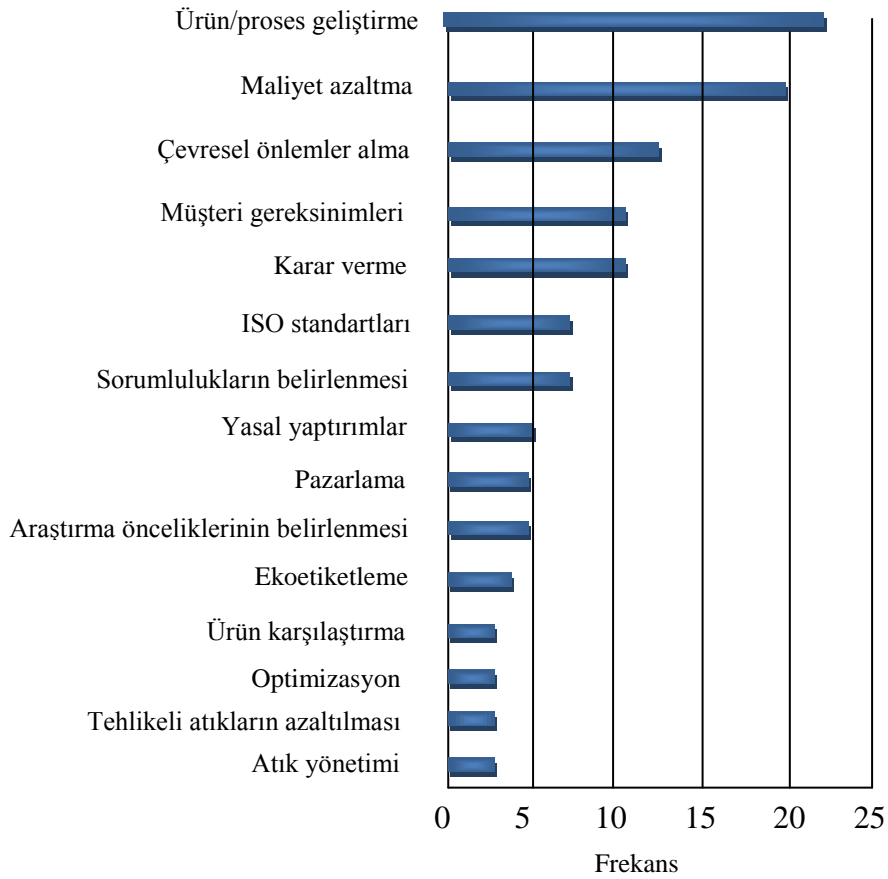
- Doğal kaynakların korunması,
- Çevre ile ilgili yasa ve yönetmeliklerin geliştirilmesi,
- Çevre yönetim sistemlerinde çevresel performans değerlendirmesinin geliştirilmesi,
- Çevresel kirliliğin önlenmesi,
- Çevresel eşitliğin sağlanması,
- Çevreye duyarlı ürünlerin üretiminin sağlanması,
- Ürün üretimi ve kullanımı sonucu oluşan toplam çevresel etkilerin ve sağlık risklerinin azaltılması amaçlanmaktadır (EBN, 2002a).

LCA bir ürünle ilişkili çevresel durumları ve potansiyel etkileri değerlendirmek için kullanılan bir tekniktir ve bunu şu şekilde gerçekleştirmektedir (Sünbül, 2006);

- Bir ürün sisteminin ilgili girdileri ve çıktılarının envanterini derleyerek
- Bu girdilerle ve çıktılarla ilgili potansiyel çevresel etkileri değerlendirerek
- Üreticilerin daha bilinçli karar vermesi için envanter analiz ve etki değerlendirme safhalarının sonuçlarını yorumlayarak

LCA olası iki seçeneğin karşılıklı ilişkilerini değerlendirmede de kullanılabilir. Örneğin, floresan ve akkor lambaların karşılaştırılmasında sadece enerji kullanım etkisi ele alınırsa, floresan lamba daha az enerji harcadığı için avantajlı konumda olacaktır. Buna rağmen, kontrol faktörü zehirli atık üretimi olduğu durumda floresan lamba zehirli civa içerdiği için karşılaştırmayı kaybedecektir. Bu durumda LCA sistemi, tüm çevresel etkilerin dikkate alınmasını sağlamakta ve hangi ürünün kullanılacağına dair karar verme prosesine yardımcı olmaktadır (Çokaygil, 2005).

LCA, birçok amaç için kullanılabilir. Şekil 1.7 'de verilen LCA'nın kullanım amaçları ve bu amaçlara göre kullanım ağırlıklarına bakıldığında, ürün/proses geliştirme ve maliyet azaltımı öncelikli sırayı alırken; karar verme çevresel zorunluluk ve müşteri istekleri ikinci sıradadır.



Şekil 1.7. LCA'nın uygulama alanlarına göre kullanım sıklığı (Çokaygil, 2005)

### 1.2.2. Gelişimi

Temel düşünce 1960'larda enerji ve hammadde kullanımındaki sınırlamaların artmasıyla başladı. Bu konuda yapılan ilk yayınlardan biri Harold Smith tarafından 1963 Dünya Enerji Konferansı'nda aktarılan kimyasal ürün ve ara ürünlerin üretimi sırasında gereken toplam enerjinin hesaplanmasıdır.

1960'ların sonlarına doğru yapılan modelleme çalışmalarında, değişen dünya nüfusundan ve artan endüstriyel tüketimden kaynaklanan hızlı kaynak kullanımı ve çevresel etkileri ile ilgili tahminler yürütülmüş ve bu çalışmalar "The Limits To Growth" ve "A Blue Print For Survival" da yayınlanmıştır (Vigon vd., 1994).

1969 yılında Coca-Cola Şirketinin uyguladığı bir LCA çalışmasında, farklı içecek kapları karşılaştırılarak, hangisinin çevreye ve doğal kaynaklara daha az zarar verdiğinin bulunması amaçlanmıştır (Sucu, 2006; Sünbül, 2006).

1960'ların sonunda ve 1970'lerin başında Kaynak ve Çevresel Profil Analizleri (Resource and Environmental Profile Analysis—REPA) LCA'nın ilk adımı olmuştur. Özel sektör için yapılan bir dizi çalışma, önceleri Midwest Araştırma Enstitüsü tarafından, daha sonra ise Franklin Associates Ltd. Danışmanlık Şirketi tarafından yönetilmiştir. Coca Cola ve Mobil Corporation REPA çalışmaları yapan firmalardan ikisidir. REPA çalışmalarında hammadde talepleri, enerji girdileri ve atık üretimi konuları ele alınmıştır. LCA metodolojisinin gelişim sürecinde çevresel etkinin sınıflandırılması yoluyla daha kompleks analiz yapma girişimleri sonradan oluşmuştur (Güler 2004; Çokaygil, 2005).

Etkin olarak LCA metodolojisi geliştirme çabaları 1970'lerde Amerika Birleşik Devletlerinde başladı. Kuzey Amerika Çevresel Toksoloji, Kimya Derneği (SETAC) ve Amerika Birleşik Devletleri Çevresel Koruma Ajansı (USEPA), yaşam döngüsü envanter analizi ve etkili değerlendirmesini idare etmek amacıyla bir iskelet üzerindeki konsensüsü geliştirmek ve desteklemek için tasarlanmış çalışmalara ve diğer projelere destek olmuşlardır. Benzer çabalar SETAC—Avrupa, diğer uluslararası örgütler (Uluslararası Standartlar Organizasyonu—ISO gibi) ve dünya genelindeki LCA pratisyenleri tarafından üstlenilmiştir. Bu çabalar sonucunda, uzlaşma, kapsamlı LCA iskeleti ve iyi tanımlanmış envanter metodolojisinde başarılı olmuştur (Curran, 2006).

LCA konusunda yapılan bir diğerk çalışma Net Enerji Analizi adı altında 1970'lerde ortaya çıkmıştır. 1973 ve 1979 yıllarında yaşanan global petrol krizi sırasında Filipinler, ABD ve Brezilya'nın da içinde bulunduğu birçok ÷lke, petrolün yerini alabilecek ürünleri keşfetmeye başlamıştır. Petrole alternatif yakıt arama çalışmalarından birisi de etil alkol—karbonhidrat biyokütlesinin fermantasyonu ile üretilen biyoetanol eldesidir. Biyoetanol ticaretinde başarılı olan Brezilya'nın geliştirdiği ProAlkol programı yirmi yıldan fazla bir süredir devam etmektedir. Burada oluşan problemlerden birisi, biyoetanol üretiminin yaşam döngüsü boyunca çok yoğun enerji kullanılmasıdır. Net enerji analizi, son ürünün enerji değereri ile biyoetanolün yaşam döngüsüne giren kümülatif enerjinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Bunun gibi bir karşılaştırma, alternatif bir yakıtın konvansiyonel enerji kaynaklarının yerini aldığının ve yaygınlaştığının gerçerk bir göstergesidir. Sonuç olarak bu enerji analiz teknikleri, yakıt ve enerji sistemleri için gelişmiş LCA'nın ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu LCA günümüzde Tam Yakıt Döngüsü Değerlendirmesi (FFCA) olarak adlandırılmaktadır (Güler 2004; Çokaygil, 2005).

1979 yılında yayımlanan "Handbook of Industrial Energy Analysis" kitabında Dr. Ian Boustead, cam, plastik, çelik ve alüminyum gibi çeşitli içecek kaplarının üretiminde kullanılan toplam enerjinin hesaplanmasından bahsetmiştir (Sünböl, 2006; Sucu, 2006; Sert, 2010).

1985 yılında Avrupa Komisyonu Çevre Grubu tarafından yayımlanan yönerge ile üye şirketlerin sıvı besin kaplarından kaynaklanan enerji ve ham madde kullanımları ile katı atık ve bertarafalarını izleme zorunluluğu getirilmiştir.

1988 yılında katı atık üretimi ve bertarafı gibi konuların analizi için LCA, teknik bir yöntem olarak yeniden Kuzey Amerika ve Avrupa'da gündeme gelmiştir. Ürün ve prosesin yaşam boyu değerlendirilmesinde geri kazanım ve kompostlaştırma yaklaşımları da yer almıştır. 1990 yılında Procter & Gamble'ın finanse ettiği bir LCA çalışması Arthur D. Little tarafından tek kullanımlık çocuk bezleri için gerçerkleştirilmiştir (Sünböl, 2006; Sucu, 2006; Sert, 2010).

Modern LCA metodolojisi ise 1990'lar boyunca standartların geliştirilmesi konusunu araştırmıştır. 1991 yılında SETAC bu konuda ilk girişim olarak "Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi İçin Teknik Yapı" adlı uluslararası bir LCA standardı yayınlamıştır. Bu standart, çağdaş LCA'nın bileşenlerinin ana hatlarını, hedef tanımı, envanter değerlendirmesi, etki değerlendirmesi ve geliştirme analizi olarak açıkça ortaya koymuştur (Güler, 2004; Çokaygil, 2005).

1990'ların sonlarında ISO, ISO 14000 Çevre Yönetim Standartlarına yardımcı olacak ISO 14040 serilerini yayınlamıştır. Bu seriler Çizelge 1.1.'de verilmiştir (Çokaygil, 2005).

**Çizelge 1.1.** ISO 14040 Çevre Yönetimi—LCA Serisi (Çokaygil, 2005)

Sayı	LCA Standardının Adı	Durum
ISO 14040	Çevre Yönetimi—YDD—Prensip ve Çerçeve	1.Baskı (1997)
ISO 14041	Çevre Yönetimi—YDD—Amaç ve Kapsam Tarifi ile Envanter analizi	1.Baskı (1998)
ISO 14042	Çevre Yönetimi—YDD—Yaşam Döngü Etki Değerlendirmesi	1.Baskı (2000)
ISO 14043	Çevre Yönetimi—YDD—Yaşam Döngü Yorumu	1.Baskı (2000)

1992'de gerçekleştirilen BM Dünya toplantısında, LCA “çevre yönetim sistemlerinde kullanılmakta olan yöntemlerden en yaygın olanı” olarak nitelendirilmiştir. 1993 yılında uluslararası LCA çalışmalarından en anlaşılır tarzda olan The LCA Sourcebook: A European Guide to Life Cycle Assessment yayınlanmıştır.

Son yıllarda bu alandaki teknik gelişmelerin artırılması ve geliştirilmesi için the Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (SETAC), grup çalışmaları ve toplantılar düzenlemektedir (Özeler ve Demirer, 2000; Sünbül, 2006; Sucu, 2006; Sert, 2010).

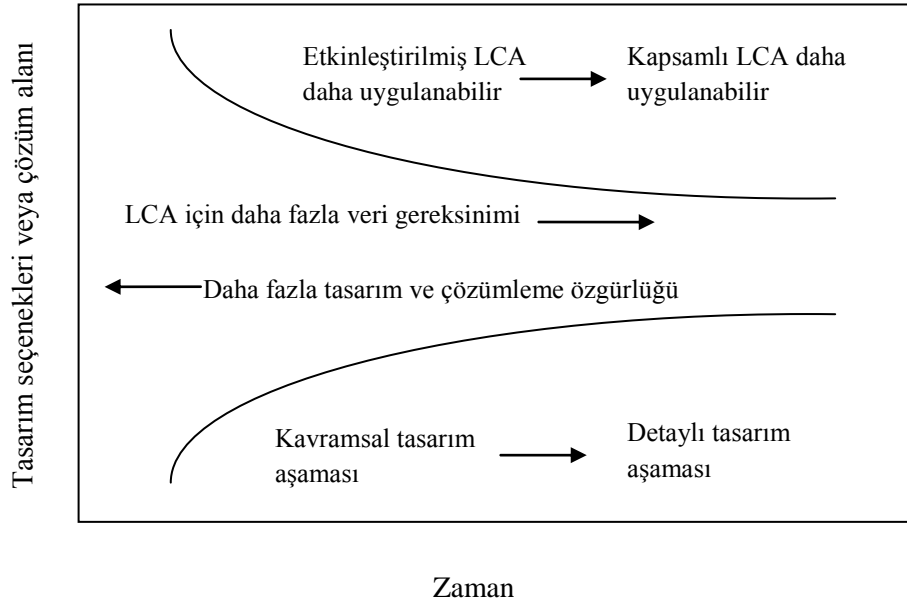
YDD çalışmaları 3 organizasyon tarafından bilimsel bir zeminde yürütülmektedir. SETAC, ISO ve UNEP organizasyonları “ Benim ürünüm, rakiplerimden daha çevreci” gibi söylemlerin bilimsel bir zemine oturması için yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi üzerinde çalışmalarına halen devam etmektedir ve bu değerlendirme yöntemi hala gelişim sürecindedir (Haes ve Heijungs, 2007).

### **1.2.3. Farklı uygulamalarda LCA'nın gelişmişlik seviyeleri**

Aralarında kesin bir ayırım yapılamamakla birlikte, sadece gelişmişlik seviyelerine göre birbirine bağlı ayrı bileşenler olarak ele alınan üç farklı LCA türü vardır:

- Kavramsal
- Basitleştirilmiş
- Detaylı

LCA'nın geliştirilmesine ve standardizasyonuna dayanan birçok çalışma detaylı LCA'ya yöneliktir. LCA'nın bazı uygulamalardaki detay seviyesi Çizelge 1.2.'de; kavramsalardan detaylıya doğru, tasarım ve çözüm seçeneklerine bağlı olarak değişen tasarım aşamaları ise Şekil 1.8.'de verilmiştir (Jensen vd., 1997).



**Şekil 1.8.** Tasarım aşamasının fonksiyonları olarak tasarım seçenekleri ve LCA çözümleri (Çokaygil, 2005)

**Çizelge 1.2.** LCA'nın bazı uygulamalarındaki detay seviyesi (Jensen vd., 1997)

Uygulama	LCA'nın detay seviyesi			Açıklamalar
	Kavramsal	Basitleştirilmiş	Detaylı	
Çevresel tasarım	×	×		LCA ile resmi bir bağlantı yok
Ürün geliştirme	×	×	×	Karmaşıklıkta büyük çeşitlenme
Ürün iyileştirme		×		Genellikle mevcut ürünlere dayalı
Çevresel bilgi (ISO tip II—etiketleme)	×			Bazen LCA'ya dayanan
Çevresel etiketleme (ISO tip I—etiketleme)	×			Sadece kriter geliştirmede LCA'ya gereksinim vardır.
Çevresel mesaj (ISO tip—III etiketleme)			×	Envanter ve Etki Değerlendirmesi
Pazarlama organizasyonu		×	×	LCA'nın çevresel raporlamaya dahil edilmesi
Stratejik planlama	×	×		LCA bilgisinde giderek artan gelişme
Yeşil pazarlama	×	×		Ekoetiketlemedeki LCA kadar detaylı değil
Depozito uygulamaları		×		LCA'daki sayısı azaltılmış parametreler genellikle yeterlidir.
Çevresel (yeşil) vergiler		×		LCA'daki sayısı azaltılmış parametreler genellikle yeterlidir.
Ambalajlar arasındaki seçim	×		×	Detaylı envanter, kapsam

*Kavramsal LCA*; LCA'nın ilk ve en basit halidir. Bu seviyede, yaşam döngüsü yaklaşımı, çevresel bakış açılarının değerlendirilmesini, sınırlı ve genellikle nitel envantere dayalı olarak yapmak için kullanılır. Kavramsal LCA genellikle, "Bu ürün, rakip ürünlerden çok farklı mı?" ya da "Bu ürünün seçilen çevresel amaçlar yönünden net bir yararı veya eksikliği var mı?" gibi temel sorulara cevap verme niteliğindedir. Yeşil pazarlama ve yeni ürün geliştirme konularında anahtar kararlar yüksek nicel analizler gerektirmemekte, daha çok mevcut ya da yeni bir ürünün avantajlarını, dezavantajlarını ve belirsizliklerini anlamaya dayanmaktadır.

Kavramsal LCA'nın sonuçları, örnek olarak, hangi bileşenin veya materyalin, en yüksek çevresel etkiye sahip olduğunu ve nedenini belirten nitel ifadeler veya basit puanlama sistemleri kullanılarak sunulabilir. Fakat bir kavramsal LCA karar vericiye, hangi ürünün çevresel etkileri azaltma yönünden diğerlerine göre avantajlı olduğu konusunda yardımcı olabilir (Jensen vd., 1997).

*Basitleştirilmiş LCA*; Basitleştirilmiş LCA ürünlerle ve hizmetlerle ilgili nicel ve/veya nitel verileri, standart ulaşım ve enerji birimlerini kullanarak yaşam döngüsünde çevresel açıdan en önemli etkilere yoğunlaşan basit bir değerlendirmenin uygulandığı kapsamlı bir LCA'yı eleyerek daha da basite indirgeyen bir LCA uygulamasıdır.

Basitleştirilmiş LCA'nın amacı, detaylı bir LCA'yla aynı sonuçları vermek fakat zamandan tasarruf etmektir. Fakat bu basitlik, LCA sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini etkilediği için bir ikilem yaratmaktadır. Bu nedenle, basitleştirmenin ilk hedefi, LCA içerisindeki sonuçları önemli derecede etkilemeyecek şekilde dahil edilebilecek veya basitleştirilebilecek alanları belirlemektir (Jensen vd., 1997).

LCA'nın basitleştirilmesi birbirleriyle bağlantılı olan üç aşamadan oluşur.

- Eleme: Yaşam döngüsü aşamalarında önemli olan ya da veri eksikliği bulunan temel girdileri belirlemektir.
- Basitleştirme: Eleme aşamasında bulunanların sistemin ve temel girdilerin önemli kısımlarındaki ileri düzeyde çalışmalara yoğunlaşmak için kullanılmasıdır.
- Güvenilirliğin değerlendirilmesi: Basitleştirmenin tüm sonuçların güvenilirliğini önemli derecede azaltıp azaltmadığının kontrol edilmesidir.



Basitleştirilmiş LCA, çevresel açıdan sıcak noktaları belirlemek için çevresel etiketlemede (ecolabeling) kullanılmaktadır. Basitleştirilmiş LCA'nın bir diğer kullanımı ise yaşam döngüsünde dikkate değer oranda emisyonların olduğu prosesleri belirlemektir. Bu prosedür, açığa çıkan istenmeyen etkileri değerlendirmek amacıyla risk değerlendirmesi gibi diğer çevresel yönetim araçları uygulamalarınca takip edilebilir (Jensen vd., 1997).

Sonuçların yanlış yorumlanmasını önlemek için basitleştirilmiş LCA, en azından aşağıda verilen standartları sağlamalıdır:

- Çalışma envanter, etki değerlendirmesi ve yorumu içermelidir.
- Çalışmada belirlenen sınırlar ve uygulanacak olan LCA metodolojisinin yöntemleri açıkça ortaya koyulmalıdır.

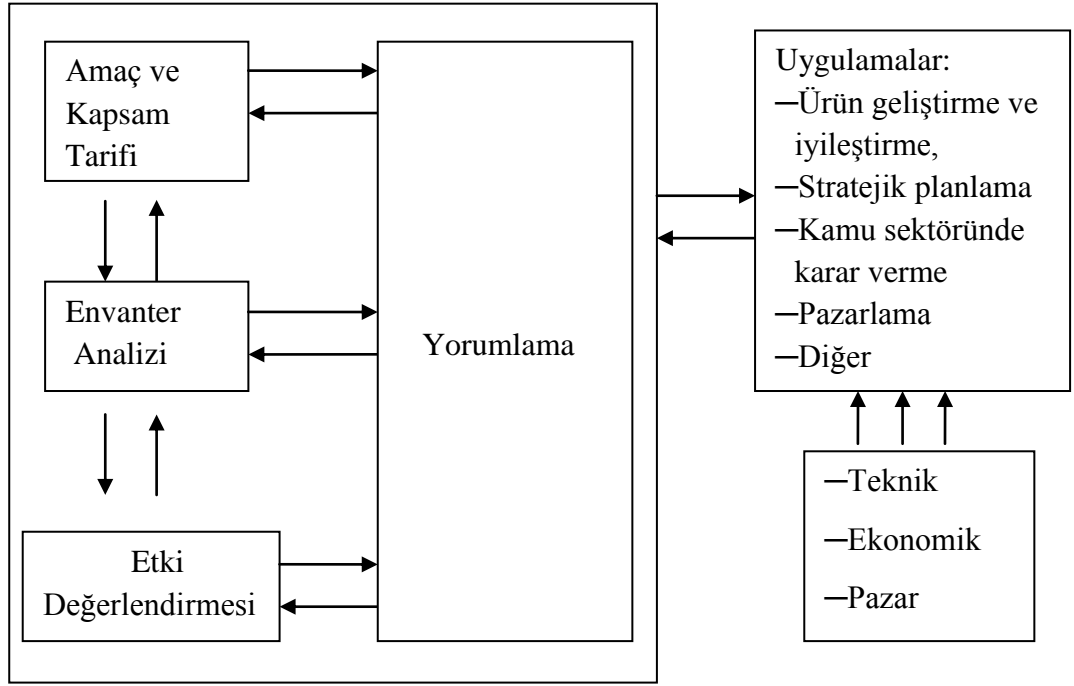
Çalışmanın sonuçları, ürünün detaylı LCA'sıyla aynı sonuçları vermelidir (Çokaygil, 2005).

#### **1.2.4. Metodolojisi**

LCA, kaynak kullanımının ve çevresel izlerin kapsamlı çevresel sonuçlarını en aza indirmek için fırsatları sistematik olarak tanımlar ve değerlendirir. SETAC'ın çabaları yanında USEPA'nın LCA metodolojisinde yol gösteren araştırması, günümüzde kabul edilen dört bölümlü yaklaşıma öncülük eder (Curran, 2006):

- 1) Özellikle çalışmanın amacını belirtme ve uygun bir şekilde çalışmanın sınırlarını tanımlama (Amaç ve Hareket Serbestliği Tanımı)
- 2) Enerji kullanımını, işlenmemiş materyal girdilerini ve yaşam döngüsünün her seviyesiyle ilişkili çevresel izleri ölçmek (Yaşam Döngüsü Envanteri—LCI)
- 3) İnsan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri değerlendirmek için envanter sonuçlarını yorumlamak (Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi—LCIA)
- 4) Yaşam döngüsü yanında enerjiyi, materyal girdilerini veya çevresel etkileri azaltmak için fırsatları değerlendirmek (İlerleme Analizi veya Yorum)

Şekil 1.9.'da görüldüğü gibi LCA, birbiriyle ilgili dört bölümden oluşmaktadır. Her bölüm kendinden bir önceki bölümü izlemekte ve gerektiği durumlarda çalışılan bölümde yapılan eklemeler ve sonuçlar doğrultusunda geçmiş bölümlerde düzeltmeler yapılabilmektedir. Şekilde verilen çift yönlü oklar LCA'nın etkileşimli yapısını göstermektedir (Sünbül, 2006).



**Şekil 1.9.** Yaşam Döngü Değerlendirmesinin yapısı ve bölümleri (Sünbül, 2006; Sucu, 2006)

LCA dört ana bölümden oluşmaktadır:

#### 1.2.4.1. Amaç ve kapsam tarifi

YDD, genellikle bilgi edinme ve karar verme sürecinde kullanılmaktadır. Örneğin bir kurum yeni bir ürün ya da üretim yöntemi geliştirmeye karar verebilir, kullanıcılar çevreye etkisi olmayan ürünü seçmek isteyebilir ya da zorunluluklar bazı ürünlerin yerine seçenek olabilecek ürünlerin kullanılmasını belirlemeye çalışıyor olabilir. Bu nedenle, YDD çalışmasının amacının ve kapsamının tanımlanması çalışmaya yardımcı olmaktadır (Taygun, 2005).

Bu aşamada Yaşam Döngü Değerlendirme çalışmasının amacı, kapsamı ve detay derecesi açıkça tanımlanmalıdır. İzlenmesi gereken aşamalar:

- 1) Amaç
- 2) Kapsam
- 3) Fonksiyonel birim
- 4) Sistem sınırları
- 5) Veri kalite değerlendirme
- 6) Kritik gözden geçirme

Amaç ve kapsam tanımı, LCA'nın sonuçları üzerinde güçlü bir etkiye sahip olması nedeniyle kritik bir bölüm olarak ele alınmaktadır (Jensen vd., 1997).

### Amaç;

LCA'nın amaç tanımı aşamasında; yaşam döngüsü değerlendirmesinin amacı, tasarlanan uygulama, çalışmanın gerçekleştirilme sebepleri ve hedef kitle ifade edilmelidir. Amaç tanımı aynı zamanda sonuçların kullanılmasındaki niyeti ve sonuçların kullanıcılarını da belirtmelidir. Amaca ulaşmak zorunda olan uygulayıcının, çalışma sayesinde sağlam kararlar oluşturabilmesi için çalışmanın amacını detaylı olarak anlaması ve anlatması gerekmektedir. Amaç tanımı çalışmanın karmaşıklık derecesini ve raporlama gereksinimlerini belirler. Şeffaflık tüm LCA çalışmaları için zorunludur. LCA çalışmasının hedef kitlesi de raporlama yönteminin seçilmesi açısından önemlidir. Amaç, yorum aşamasının bir bölümü ve çalışmadan elde edilenlerin bir sonucu olarak yeniden tanımlanabilir (Jensen vd., 1997).

### Kapsam;

LCA'nın kapsamının belirlenmesi sistemde yer alacak ve kullanılacak detaylı değerlendirme yöntemlerini içeren bilgilerle değerlendirmenin sınırlarını ortaya koyar. Kapsam tanımında sistemin/sistemlerin işlevi, fonksiyonel birim, çalışılacak olan sistem, sistemin sınırları, paylaşırma prosedürleri, etki çeşidi, etki değerlendirmesi yöntemi, yorum aşaması, veri gereksinimi, varsayımlar, sınırlamalar, başlangıç veri kalitesi gereksinimleri, kritik gözden geçirme, çalışma için gerekli olan raporun türü ve formatı ele alınmalı ve açıkça belirtilmelidir (Çokaygil, 2005).

Çalışmanın kapsamı; çalışmanın uygun genişlik, derinlik ve detayda olması başlangıçta belirlenen hedefe ulaşılabilmesi açısından iyi bir şekilde tanımlanmalıdır. LCA'nın tekrarlama gerektiren bir teknik olması nedeniyle çalışma yürütülürken ilave bilgi toplanması gibi durumlarda çalışmanın kapsamı modifiye edilmelidir (Jensen vd., 1997).

### Fonksiyonel birim;

Fonksiyonel birimin veya performans özelliklerinin belirlenmesi bir ürünün geliştirilmesi açısından LCA' da bulunması gerekli olan bir bölümdür. Envanter aşamasında toplanan tüm veriler, fonksiyonel birimle bağlantılı olmalıdır. Aynı işleve sahip farklı ürünlerin karşılaştırılmasında, fonksiyonel birim ayrı bir öneme sahiptir. Sistemin fonksiyonel birimi açıkça belirlenmeli ve ölçülebilir olmalıdır. Fonksiyonel birimin amaçlarından birisi giriş ve çıkış verilerine bir referans sağlamaktır. Referans akış, fonksiyonel birimin fonksiyonu olarak ifade edilen ve verilen bir ürün sistemindeki işlemlerden elde edilmesi gereken çıktının miktarıdır (Çokaygil, 2005).

Sistemler arasındaki karşılaştırmalar aynı fonksiyon için aynı fonksiyonel birim tarafından, eşit referans akış baz alınarak yapılmalıdır. Örneğin, elleri kurutmak için kullanılan kağıt havlu ve havalı kurutucu sistemin karşılaştırılmasında fonksiyonel birim bir çift elin kurutulması olarak seçilirse, kağıt havlu ve havalı kurutucu için referans akışlar kurutulan bir çift el başına sırasıyla kullanılan kağıt havlu miktarı ve tüketilen enerji miktarı olarak verilebilir (Çokaygil, 2005).

#### Sistem sınırları:

Sistemin sınırları, prosesleri/işlemleri ve LCA' da ele alınacak olan girdi ve çıktıları tanımlar. Sistem sınırlarının tanımlanması coğrafi sınırlar, yaşam döngüsü sınırları ve teknofer ile biyosfer arasındaki sınırları içeren oldukça öznel bir işlemdir. Sistem sınırlarının tanımlanmasındaki öznellik nedeniyle tanımlanan prosesin şeffaflığı ve varsayımlar oldukça önemlidir. Başlangıç sistem sınırları modeli oluşturulacak ve sistemde yer alacak birim işlemleri tanımlar. İdeal olarak ürün sistemi kendi sınırlarındaki temel akışlar olan girdi ve çıktılar şeklinde modellenmelidir. Ancak birçok durumda bu tür kapsamlı çalışmayı yürütmek için yeterli zaman, veri veya kaynak olmamaktadır. Kararlar çalışmayla modellenecek birim işlem, çalışılacak bu birim işlemin detay seviyesi ve değerlendirilebilecek olan çevresel etkiler dikkate alınarak verilmelidir. Yaşam döngüsü aşamalarında proseslerde ve verilerde yapılan ihmallerin tümü açık ve net olarak belirtilmelidir (Jensen vd., 1997).

#### Veri kalitesi:

Yaşam döngüsü envanterinde kullanılan verinin kalitesi doğal olarak final LCA'nın kalitesini yansıtır. Veri kalitesi farklı yollardan tanımlanabilir ve değerlendirilebilir. Veri kalitesinin sistematik bir yolla tanımlanması ve değerlendirilmesi, gerçek verinin üçüncü kişilerce anlaşılması ve kontrolünün sağlanması açısından önemlidir.

Başlangıç veri kalitesi gereksinimi aşağıda verilen parametreler ışığında hazırlanmalıdır:

*Zamanla ilgili kapsam:* Verinin yaşı (örn:5yıl içinde) ve minimum zaman uzunluğu (örn: yıllık).

*Coğrafi kapsam:* Çalışmanın amacını sağlamak üzere birim işlemler için bilginin toplanması gereken coğrafi alan (yerel, bölgesel, ulusal, kıtasal, küresel gibi).

*Teknolojik kapsam:* Teknolojik veri karışımının niteliği (gerçek işlem karışımının, en iyi teknolojinin veya en kötü işletme biriminin ağırlıklı ortalaması) (Jensen vd., 1997).

Literatürden elde edilen verilere karşılık faaliyet alanlarından toplanan verileri tanımlayan ve verilerin ölçüm, hesaplama ve tahminlerini gerektiren ileri tanımlamalar dikkate alınmalıdır. Özel sahalardan toplanan veriler, hassasiyet analizlerinde belirtildiği gibi çalışılan sistem içindeki kütle ve enerji akışlarının çoğunluğuna katkıda bulunan birim işlemler için kullanılmalıdır. Bu veriler aynı zamanda çevresel emisyonlarla ilgili olduğu düşünülen birim işlemler için de kullanılmalıdır.

Tüm çalışmalarda, aşağıda verilen veri kalitesi indikatörleri amaç ve kapsam tanımının detay derecesine bağlı olarak dikkate alınmalıdır:

*Kesinlik:* Açıklanan veri kategorilerinin her biri için veri değerlerinin değişkenliğinin ölçülmesi (varyans gibi).

*Bütünlük:* Birim prosetteki her bir veri kategorisi için mevcut potansiyel sayılara göre elde edilen birincil veri bölgelerin yüzdesi

*Temsil edilebilirlik:* Bilinen gerçek nüfusun yansıyan verisi olan derecenin nitel değerlendirilmesi (coğrafik, zaman dilimi ve teknolojik kapsam gibi).

*Tutarlılık:* Üniform olan çalışma metodolojisinin nitelik değerlendirilmesi analizin çeşitli bileşenleri için uygulanır.

*Tekrarlanabilirlik:* Çalışmada raporlanmış tekrarlanan sonuçlar için data değerleri ve metodolojisi hakkında bilgisi olan serbest uygulayıcıya kapsamlı nitelik değerlendirme sağlar (Jensen vd., 1997).

#### Kritik gözden geçirme:

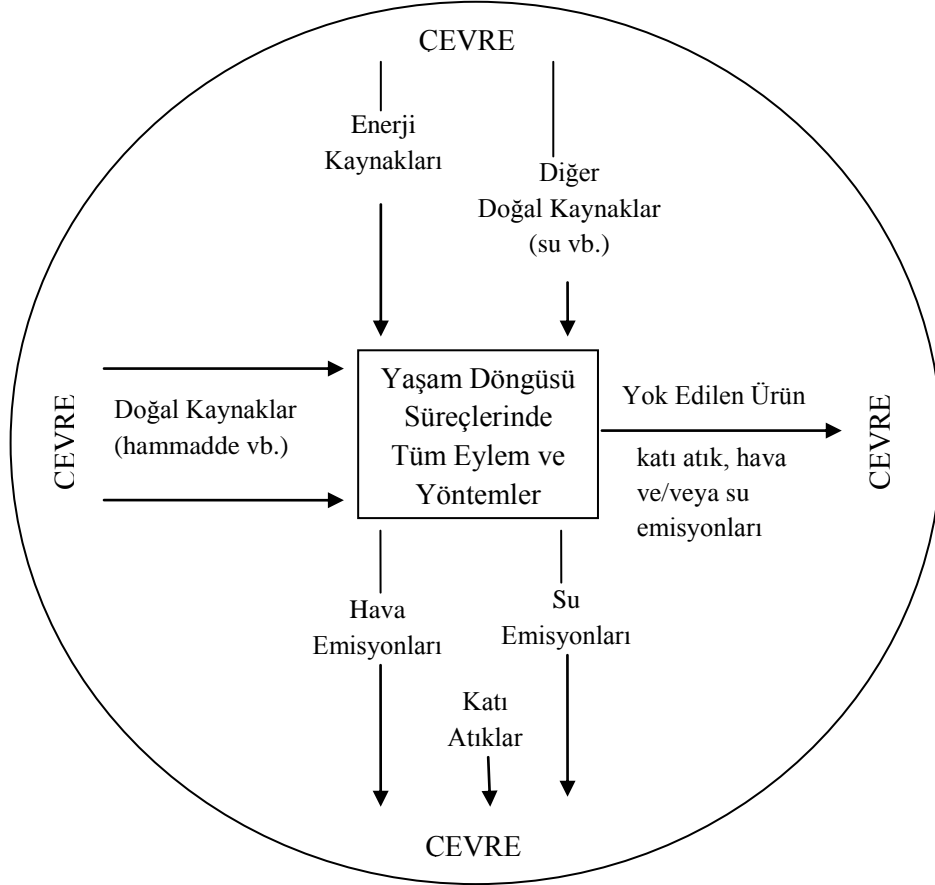
Kritik gözden geçirmenin amacı, yaşam döngüsü değerlendirmesinin kalitesini sağlamaktır. Bu gözden geçirme LCA çalışmasının yürütüldüğü kuruluştaki uzmanlar, kuruluş dışı uzmanlar veya kamu kuruluşları, gönüllü gruplar ve rakip kuruluşlar gibi ilgili taraflardan oluşturulmuş uzmanlarca yapılmaktadır.

Kritik gözden geçirme,

- LCA'yı gerçekleştirmek için kullanılan metodun uluslararası standartlarla uygunluğundan,
- LCA'yı gerçekleştirmek için kullanılan metodun bilimsel ve teknik açıdan geçerliliğinden,
- Kullanılan verilerin çalışmanın hedefiyle olan uygunluğundan ve kabul edilebilirliğinden,
- Yorumların belirlenen sınırları ve çalışmanın hedefini yansıttığından,
- Çalışma raporunun şeffaflığından ve tutarlılığından emin olmak için kullanılır (Jensen vd., 1997).

#### 1.2.4.2. Yaşam döngüsü envanter analizi

Envanter analizi, ürünün tüm yaşam döngüsü süreçleri boyunca girdi ve çıktıların tanımlandığı; enerji ve hammadde gereksinimlerinin, hava ve su emisyonlarının, katı ve diğer çevresel atıkların belirlendiği adımdır (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Yaşam döngüsü süreçlerinde girdiler ve çıktılar (Taygun, 2005).

Envanter analizi, çalışmanın amacını ve kapsamını karşılayacak nitelikte olmalıdır. Bu nedenle gerektiğinde başa dönüp yapılan işlemlerin tekrar gözden geçirilmesi gerekebilir (Sünbül, 2006; Sucu, 2006).

Bu bölümde izlenen aşamalar şöyledir (Jensen vd., 1997):

- 1) Veri toplama
- 2) Sistem sınırlarının incelenmesi
- 3) Hesaplama
- 4) Verinin geçerliliği
- 5) Verilerin fonksiyonel birimle ilişkilendirilmesi
- 6) Paylaştırma

### Veri toplama

Envanter analizleri, yaşam döngüsünün tüm kademelerindeki materyal tüketimi, atık ve emisyon profillerinde kullanılacak olan verinin toplanmasını ve elenmesini içerir. Veri özel şirket, saha veya ülkelerden toplanabilir. Bu veri nitel veya nicel olabilir. Nicel veri, proseslerin ve malzeme türlerinin karşılaştırılması bakımından daha önemlidir. Daha tanımlayıcı olan nitel veri, yaşam döngüsündeki ölçülemeyen çevresel etkiler için kullanılabilir. LCA'nın yorum aşaması, hedef ve kapsam aşamasına bağlı olarak bu veriler ışığında yapılır. Bu veri aynı zamanda yaşam döngüsü etki değerlendirmesi aşamasına girdi oluşturur. Envanter analizi oluşturma prosesi tekrar gerektiren bir işlemdir. Veri toplandıkça ve sistem hakkında daha çok şey öğrenildikçe çalışmanın hedeflerinin korunabilmesi açısından veri toplama prosedürlerin'de ki değişiklikleri karşılamak üzere yeni verilere veya mevcut verilerde sınırlamalara gerek duyulacaktır (Çokaygil,2005).

Envantere dahil edilen nitel ve nicel veriler sistem sınırlarında mevcut proseslerin her biri için toplanmalıdır. Veri toplamada kullanılan prosedürler çalışmanın kapsamına, birim proseslerine ve uygulamasına bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Özellikle özel bir sahaya ait çalışmada, her bir proses için veri toplamak gerekir. Çoğu durumda, literatürden sağlanan ortalama veri kullanılır. Ortalama veri, kavramsal veya basitleştirilmiş LCA' da özel materyallerin işlenmesinden kaynaklanacak olan potansiyel girdi ve çıktılara yönelik olarak ilk izlenimi elde etmek amacıyla kullanılabilir. Detaylı bir LCA yapılırken sahaya özel veri tercih edilmelidir. Ortalama veriler genelde birkaç yıllıktır ve bu nedenle son teknolojiyi temsil edemeyebilirler (Jensen vd., 1997).

### Sistem sınırlarının incelenmesi

Başlangıç verisinin toplanmasından sonra sistem sınırları, hassasiyet analizlerine göre önemli olan bazı yaşam döngüsü aşamalarını, alt sistemleri veya malzeme akışlarını sistem dışı bırakma ya da yeni prosesleri dahil etme kararlarının bir sonucu olarak elenebilir. Eleme prosesleri ve hassasiyet analizleri dökümanate edilmelidir (Jensen vd., 1997).

### Hesaplama prosedürleri

Yaşam döngüsü değerlendirmesinde paylaşırma yöntemleri için tanımlanan gereksinimler dışında, hesaplama için yasal gereksinimler bulunmamaktadır. Verilerin miktarına bağlı olarak, özel bir amaç için bir tablo oluşturulması tavsiye edilmektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik olarak hesaplama için çok sayıda yazılım bulunmaktadır (Jensen vd., 1997).

### Verinin geçerliliği veya doğrulanması

Verinin geçerliliğine, veri kalitesini geliştirmek üzere veri toplama sürecinde dikkat edilmelidir. Sistemik veri doğrulanması, veri kalitesinin geliştirilmesi gereken alanlarını veya birim işlemlerde bulunması gereken verileri işaret etmektedir. Veri toplama süresince sürekli ve tekrarlı olarak veri doğrulanması yapılmalıdır. Doğrulama, kütle—enerji denklikleri ve karşılaştırmalı emisyon faktör analizleri kurmayı gerektirebilir (Jensen vd., 1997).

### Verilerin fonksiyonel birimle ilişkilendirilmesi

Her birim süreç için, uygun bir referans akış belirlenmelidir (1 Kg materyal, 1 MJ enerji için gibi). Birim prosesin ölçülebilir girdi ve çıktı verileri referans akışa göre hesaplanır. Kesinleşmiş olan akış diyagramı ve sistem sınırlarına dayanarak tüm sistemin hesaplanabilmesi için birim prosesler birbirlerine bağlanırlar. Bu işlem, sistemdeki birim prosesin girdi ve çıktılarının fonksiyonel birime normalize edilmesinden sonra tüm alt ve üst akımların buna göre normalize edilmesiyle gerçekleştirilir. Bu hesaplama, sistemin fonksiyonel birime referans olunan tüm girdi ve çıktı verileriyle sonuçlanmalıdır. Bir sisteme ait girdi ve çıktılarının toplanmasına çok dikkat edilmeli, toplama derecesi çalışmanın kapsamını yeterince sağlamalıdır (Jensen vd., 1997).

### Paylaştırma ve geri dönüşüm

Karmaşık bir sistemin yaşam döngüsü değerlendirilmesi oluşturulurken sistem sınırlarında yer alan tüm çıktılarının ve etkilerin ele alınması mümkün olmayabilir. Bu problem, sistem sınırlarını tüm girdi ve çıktıları kapsayacak şekilde genişleterek veya ilgili çevresel etkileri çalışılan sisteme paylaştırarak çözülebilir. Envanter, girdi ve çıktılar arasındaki materyal dengelerine dayandığı için paylaştırma prosedürleri mümkün olduğunca temel girdi-çıkı ilişkileri ve özelliklerine yakın olmalıdır.

Paylaştırmanın yapılması gerektiği durumlar:

*Çoklu çıkış prosesleri:* Birden çok ürün üretildiğinde ve bu ürün akışlarından bazıları sistem sınırlarıyla çakıştığında,

*Çoklu giriş prosesleri:* Atık arıtımı gibi emisyonlar ve girişler arasında sıkı bir nicel nedensellik bulunduğu,

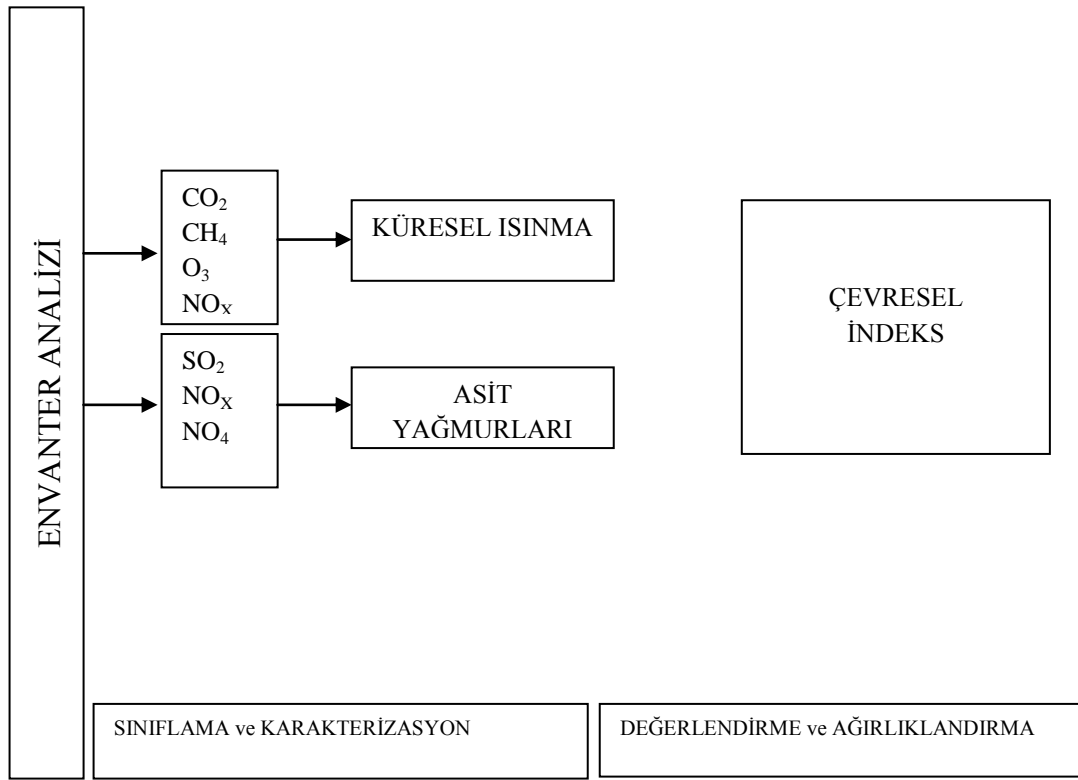
*Açık döngü geri dönüşümü:* Bir sistem sınırını terkeden atık malzemenin sınırlar dışındaki bir başka sistem tarafından hammadde olarak kullanılmasında (Jensen vd., 1997).



### 1.2.4.3. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi

Etki değerlendirme bölümünde, çalışmanın amacı ve kapsamı doğrultusunda envanter analizinde elde edilen verilere dayanarak çevre etkilerinin sınıflandırılması, nicel ve nitel olarak vasıflandırılması, eldeki tüm bu bulgulara dayanarak yapılan çalışmaların değerlendirilmesi gereken bir aşamadır. Hem ekolojik hem de insan sağlığı etkilerini ve kaynak tüketimini ele alan etki değerlendirmesinde ana kavram olumsuzluk etkenidir. Envanter analizini ve etki değerlendirmesini birbirine bağlayan olumsuzluk etkeni bir etkiye neden olan durumların dizisidir (Vigon vd., 1994).

Etki değerlendirmesi Şekil 1.11’de görüldüğü gibi sınıflama, karakterizasyon, değerlendirme ve ağırlıklandırma adımlarından oluşabilir (Taygun, 2005).



Şekil 1.11. Yaşam Döngüsü Analizinde etki değerlendirmesi adımı (Taygun, 2005)

Bu aşamada gerçekleştirilen çalışma safhaları şöyledir:

- 1) Kategori tanımı
- 2) Sınıflandırma
- 3) Karakterizasyon
- 4) Değerlendirme ve ağırlıklandırma (Taygun, 2005)

Yaşam döngüsü etki analizi yapısı ve prosedürü şeffaf olmalı ve geniş bir uygulama aralığı için esneklik ve pratiklik sağlamalıdır. Etki değerlendirmesi maliyet ve kullanılan kaynaklar bazında da etkilidir (Jensen vd., 1997).

#### Kategori tanımı

Çevresel kategorilerin seçimi ve tanımlanmasını sağlar. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi için birçok çevresel kategori bulunmaktadır ve bu kategorilerin seçimi çalışmanın hedef ve kapsamıyla tutarlı olmalıdır. Etki kategorileri, ele alınan ürün veya ürün sisteminden kaynaklanacak olan etkileri tanımlamak üzere seçilmelidir. Ele alınan etki kategorileri; abiyotik kaynaklar, biyotik kaynaklar, alan kullanımı, küresel ısınma, ozon tabakası tahribatı, ekotoksikolojik etkiler, insanlar üzerinde toksikolojik etkiler, fotokimyasal oksidasyon oluşumu, asidifikasyon ve ötrofikasyondur. Etki kategorileri bir bütün halinde pratik, bağımsız ve karakterizasyon aşamasıyla ilişkili olmalıdır (Jensen vd., 1997).

#### Sınıflama

Sınıflandırma, ilgili çevresel proseslerin bilimsel analizlerine dayanan nitel bir basamaktır. Elementlerin sınıflandırılması, yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin en basit veya en alt seviyesidir

Yaşam döngüsü envanter girdi ve çıktı verilerinin kategorilere ayrılmasıdır. Çalışma amacına uygun olarak seçilen etki kategorileri bilimsel araştırmaların incelenmesi ve ekolojik olumsuzluk etkenlerinin belirlenmesi ile sonuçlanır. Bu etkenler; asit, aldehit, alüminyum, amonyak, arsenik, canlılar için gerekli oksijeni engelleyen biyolojik ve kimyasal maddeler, karbondioksit, karbonmonoksit, klor, krom, siyanür, çözünmüş yada askıda katı maddeler, etilen oksit, florür, bitki öldürücüler, hidrokarbonlar, hidrojen, florür, demir, benzin, kurşun, civa, metal iyonları, metan, nikel, nitrojen, nitrojen oksitler, kokulu sülfür, yağ, diğer canlılar, parçacıklar, böcek ilacı, fenol, fosfatlar, fosfor, kükürtler, sülfürik asit, kükürt oksitleri ve çinko olarak sınıflanabilir (Taygun, 2005).

Sınıflandırma, girdi ve çıktı envanter verilerini etki kategorileri gibi potansiyel çevresel etkilere ayırmalıdır. Sınıflandırma aşamasında çoğunlukla göz önüne alınan kategoriler şunlardır;

- Küresel ısınma,
- Asitleşme,
- Besin birikiminden kaynaklanan aşırı bitki büyümesi ve bundan kaynaklanan oksijenin azalması,
- Canlı ve cansız doğal kaynakların kullanımı,

- Ekotoksik etkiler,
- İnsanlar üzerinde toksik etkiler,
- İş ortamının durumu,
- Alan kullanımı

Etki gruplamaları bazı durumlarda küresel, bölgesel ve yerel etkiler gibi coğrafi ölçek bazında da yapılmaktadır (Jensen vd., 1997).

İnsan sağlığının olası etki sınıflaması ise; İnsan kanserojenleri, tahriş ediciler, alerjenler, solunum sistemini etkileyenler, sinir sistemini etkileyenler, üreme organları sistemini etkileyenler, kalp ve dolaşım sistemini etkileyenler, iskelet sistemini etkileyenler ve davranışları etkileyenler olarak yapılmıştır (Taygun, 2005).

#### Karakterizasyon

Etkilerin tanımlandığı adımdır. Örneğin karbondioksit, karbonmonoksit, klor ve metan gibi gazlar sera etkisi ve küresel ısınma sınıfına girmektedir. (Taygun, 2005).

Karakterizasyon, kategorileri indikatörler şeklinde modeller, mümkünse envanter girdi ve çıktı verilerinin bu kategori içinde toplanmasını sağlar. Karakterizasyonun sonucu başlangıç yüklemesini ve kaynak tahribatı profilini temsil etmektedir Karakterizasyon temel olarak ilgili çevresel proseslerin bilimsel analizlerine dayanan nicel bir basamaktır. Karakterizasyon, her bir girdi ve çıktının seçili etki kategorilerine olan ilgili dağılımını belirler (Jensen vd., 1997).

#### Değerlendirme ve Ağırlıklandırma

Bu adım şekil, grafik ya da çevresel bir indeks ile farklı ürünlerin çevresel problemlerinin ayrıntılı karşılaştırmasını içerir. Çevresel problemlere, kendi içinde önemine göre öznel bir değer verilmesine *ağırlıklandırma* denir (Vigon vd., 1994).

Ağırlıklı değerlendirmenin amacı, farklı yaşam döngüsü etki kategorilerini önem sırasına göre sıralayarak ağırlıklandırmak ve gruplandırmaktır. Ağırlıklandırma,

- Politikalara, amaçlara ve fikirlere dayanarak bir işletmenin önceliklerini açıklama,
- Prosesin görülebilir, dökümente edilebilir ve rapor edilebilir olduğunu garantileme,
- Bu konular ile ilgili bilgiye dayalı sonuçların önemini belirtme olmak üzere üç ana bakış açısını ortaya koymak üzere ele alınabilir (Jensen vd., 1997).

#### 1.2.4.4. İyileştirme değerlendirmesi ve yorum

Bu bölüm, LCA çalışmasının sonuçlarına dayanarak çevreye olan etkilerin azaltılmasına ve iyileştirilmesine yönelik yapılması gereken çalışmaları ve verilmesi gereken kararları kapsar.

Bu;

- Çalışmaya konu olan sistemde çevrenin iyileştirilmesine olanak veren en iyi çözümlerin belirlenmesi,
- Çevresel etkileri bir alt sistemden diğerine aktaran kararlardan kaçınılması,
- Aynı fonksiyonel birimle ilgili olarak sistemler arasında gerçeklere dayanan karşılaştırmalar yapılması ile gerçekleştirilebilir (Özeler ve Demirer, 2000; Sünbül, 2006; Sucu, 2006).

Değerlendirmenin yorumlanması,

- Çevresel etkilerin niteliksel olarak değerlendirilmesi,
- Sonuç ve öneriler olmak üzere iki adımdan oluşabilir (Vigon vd., 1994).

Envanter analizi ve etki değerlendirmesinin sonuçları hedef ve kapsam aşamasında belirtilen gereksinimleri karşılamazsa sistem sınırlarının revize edilmesi, daha fazla veri toplanması gibi işlemlerle envanter analizi geliştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem aşağıda tanımlanan 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,
4. Yukarıdaki işlemler sağlanıyorsa sonuç olarak bir rapor yazılmalı, sağlanmıyorsa 1. ve 2. basamağa geri dönmelidir. Bu işlem 3. basamak sağlanıncaya kadar tekrarlanmalıdır (Jensen vd., 1997).

Önemli çevresel konuların belirlenmesi: Hedef ve kapsam tarifine uygun olarak değerlendirme unsuru ile karşılıklı etkileşim içindeki önemli konuları belirlemek üzere envanter analizleri ve etki analizlerinden elde edilen bilgileri yapılandırmaktır (Çokaygil, 2005).

Belirleme basamağı aşağıda verilen maddelerle ilgili bilginin yapılandırılmasını ve sunulmasını içerir:

- Farklı aşamaların sonuçları; envanter verilerinin veya etki değerlendirmesinin sonuçlarının tablolar, şekiller veya diyagramlarla verilmesi
- Metodolojik seçenekler
- Kullanılan değerlendirme metodu

LCA çalışmasının karmaşıklığına bağlı olarak ele alınan sistemin önemli çevresel konuları CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> olabileceği gibi küresel ısınma, ozon tabakası tahribatı, ekotoksikolojik ve insan toksikolojik etkiler de olabilir (Jensen vd., 1997).

Değerlendirme: Bu aşama; seçilmiş olan verilerin ve proseslerin nitel kontrolünü yapmak, girdi verisindeki değişikliğin sistematik olarak nitel veya nicel analizlerini yapmak, hedef ve kapsam bölümünün yapısında tanımlanan değişiklikleri tartışmak üzere yapılır. Değerlendirme, açık ve anlaşılır biçimde sunulmalıdır (Vigon vd., 1994).

Değerlendirme sırasında aşağıdaki üç teknik dikkate alınmalıdır:

*Bütünlük kontrolü:* Bütünlük kontrolü nitel bir prosedürdür. Bu aşamanın amacı yorumlama için istenilen bütün verilerin ulaşılabilir ve tam olmasını sağlamaktır (Jensen vd., 1997).

*Hassasiyet kontrolü:* Çalışmanın hedefleriyle ilgili sonuçların güvenilirlik derecesini belirlemek üzere kullanılan parametrelerdeki değişkenlerin etkilerinin tahmin edilmesine yönelik sistematik bir prosedür içerir. Amacı; farklı aşamalarda uygulanan duyarlılık analizleri ve belirsizlik analizlerinin sonuçlarını gözden geçirmek ve çalışmanın hedef ve kapsam aşamasında belirtilen kabul edilebilir değerleri aşmak için bulunan önemli çevre sorunlarını değerlendirmektir. Hassasiyet analizi yapmanın en uygun yolu, simülasyonları kullanarak giriş parametrelerini sistematik olarak değiştirmektir (örneğin Monte Carlo simülasyonları) (Jensen vd., 1997).

*Uygunluk kontrolü:* Uygunluk kontrolü de nitel bir işlemdir. Amacı çalışma boyunca kullanılan yöntemlerin, prosedürlerin ve verinin ele alış biçiminin amaç ve kapsamla uyumluluğunu kontrol etmektir. İşlemin olup olmadığını test etmek için mevcut yöntemler karşılaştırmalı çalışmalar içinde özellikle ve sürekli olarak kullanılmıştır. Uygunluk kontrolünün konuları; bölgesel ve/veya zamansal farklılaşmalar, sistem sınırları, paylaşırma yöntemleri, proses öncesi ve sonrasındaki farklılıklar ve ağırlıklandırma/değerlendirme yöntemleri şeklindedir (Jensen vd., 1997).

Sonuç ve öneriler: Yaşam döngüsü envanter çalışmasının raporu için sonuç ve önerilere ulaşmayı sağlar. LCA raporu okuyucularının dikkate aldığı bu adım çalışmanın raporlanmasını ve şeffaflığını geliştirmek için önemlidir (Jensen vd., 1997).

### **1.2.5. LCA'nın metodolojik sorunları**

#### Üretim süreçlerindeki ve maliyetlerdeki farklılıklar:

Gelişmişlik düzeyi farklı ülkelerin üretim süreçlerinde oluşan farklılık nedeniyle aynı ürünün birimi üzerindeki çevresel yük de farklılıklar göstermektedir. Bu da doğal olarak maliyetlere yansımaktadır. Eko-etiketleme gibi araçlar çevresel etkilerinin yanı sıra maliyetleri de sorgulamaktadır. Böylece UNEP ve SETAC önderliğinde gelişmekte olan ülkeleri de içine alan sürdürülebilirlik anlaşması platformu oluşturulmuştur. Bu açıdan bakıldığında yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin teknik ve finansal araçlarla birleşmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

#### Birim karmaşası:

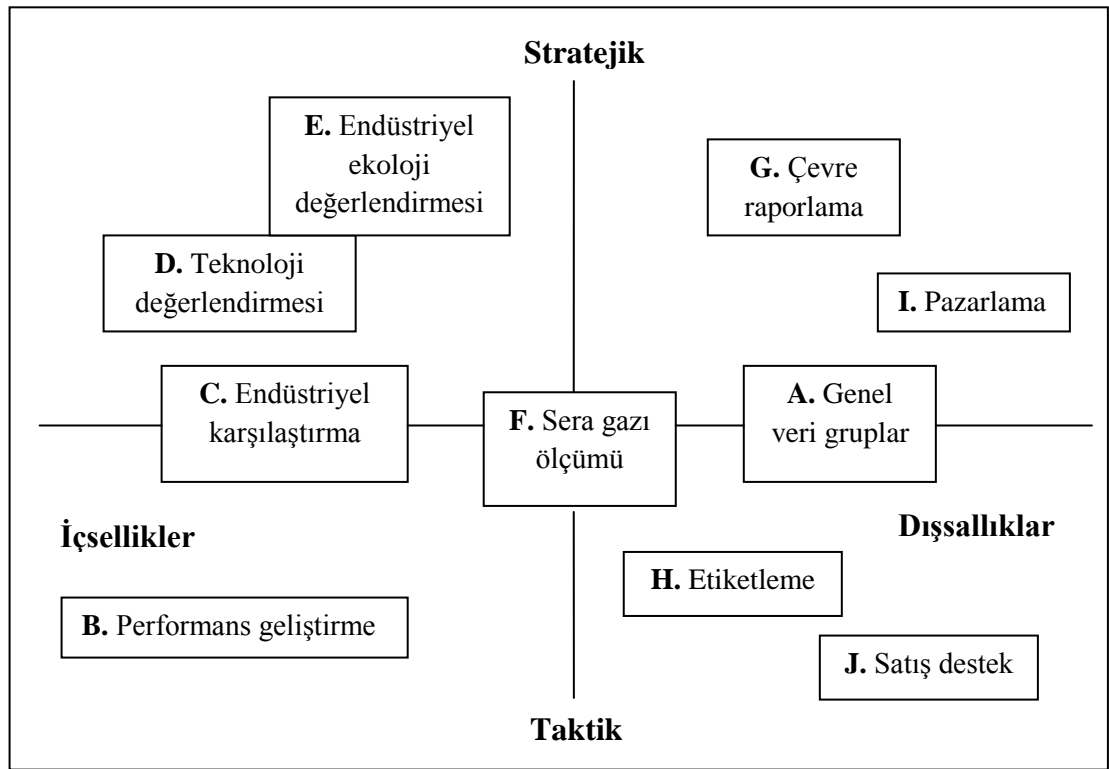
Çevresel yüklerin hangi birimle ifade edileceği bazen sorun olmaktadır.

#### Sınırlar:

Hangi prosese kadar inileceği ve hangi proseslerin dahil edileceği bazen sorun olmaktadır. Örneğin ürün taşınması işleminde kamyonların kullandığı yakıt dahil edilecektir, ama kamyonların üretim prosesi dahil edilecek midir? Genel olarak yaşam döngüsü analizi ana materyaller seviyesinde durur (Haes ve Heijungs, 2007; Sert, 2010).

### **1.2.6. LCA'nın potansiyel kullanıcı grupları ve uygulama alanları**

LCA endüstriyel ürünler, yapılar, atık yönetim senaryoları, ulaşım ve yakıtlar vb. olmak üzere çok farklı ürünlere ve proseslere uygulanabildiği gibi ürün ve proses geliştirme, stratejik karar verme, eko-tasarım, ürün karşılaştırma, eko-etiketleme, pazarlama ve kamusal faaliyetler gibi birçok uygulama için kullanılabilen ve olup, son yıllarda artan bir şekilde planlama ve projelendirme aracı olarak da kullanılır hale gelmiştir. Şekil 1.12.'de LCA'nın farklı kullanım alanları görülmektedir (James, 2003).



**Şekil 1.12.** LCA'nın uygulama alanları (James, 2003)

LCA uygulamaları ve sonuçları ile ilgilenebilecek çeşitli kullanıcı grupları; firmalar, ticari birlikler, kamu kuruluşları, çevreciler ve tüketici kuruluşları gibi diğer kamu dışı kuruluşlar olabilir. Bu gruplar LCA aracını dahili çevre yönetimi ve harici amaçlar için kullanabilirler. Harici amaçlar için kullanım; çalışmanın detay düzeyine, kullanılan veri ve metodların şeffaflık derecesine ve çalışmanın bütünlüğüne bağlıdır. Çalışmanın uygulama ve sınırlamalarına karar verirken dikkat edilmesi gereken konular; ele alınması düşünülen çalışmanın amaç ve kapsamının belirlenmesi, sonuçların kamuoyuna sunumu, sonuçlara ulaşılması istenen hedef kitlenin eğitim düzeyi gibi birçok faktöre bağlıdır.

Konuyla ilgili bazı uygulamalar şöyle sıralanabilir;

- 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 (Sünbül, 2006; Sucu, 2006).

### 1.2.6.1. Özel sektör uygulamaları

İşletmelere göre LCA aracı, prosesin kendisiyle olduğu gibi proses öncesi ve sonrasıyla ilgili çevre sorunlarını anlamak için kullanılmalıdır. Bu anlayış, tedarik zinciri boyunca etkileri azaltmada sürekli iyileştirme için kullanılabilir. Yaşam döngüsü envanterleri çoğunlukla kimyasal, plastik, metal ürün üreticileri tarafından karşılaştırma yapmada veya atık yönetimi ve geri dönüşüm seçeneklerini değerlendirmede kullanılmaktadır. Ara ürün ve yedek parça üreticileri son ürün üreticileri için veri sağlamakta; son ürün üreticileri ise önceki ve sonraki proseslerden gelen bilgileri en az çevresel etkiye sahip ürünleri tasarlamak ve üretmek için birleştirmektedirler (Jensen vd. 1997).

#### 1. Ürün geliştirme

Ürün geliştiricinin her zaman göz önünde bulundurması gereken Dünya Çevre Endüstrisi Konseyi (World Industry Council for the Environment) tarafından tanımlanan çevre için tasarımda önemli konular aşağıda belirtilmiştir (Schmidt vd., 2002).

##### *1. Malzeme seçimi*

- Toksik kimyasal içeriğinin en aza indirilmesi
- Geri kazanılmış ve kazanılabilir malzemelerin dahil edilmesi
- Daha dayanıklı malzemelerin kullanılması
- Hammadde kullanımının azaltılması

##### *2. Üretimin etkileri*

- Prosesten kaynaklanan atığın azaltılması
- Enerji tüketiminin azaltılması
- Toksik kimyasalların kullanımının azaltılması

##### *3. Ürün Kullanımı*

- Enerji verimliliği
- Üründen kaynaklanan emisyonların ve atığın azaltılması
- Ambalajlamanın en aza indirgenmesi

##### *4. Geri kazanım ve yeniden kullanım için tasarım*

- Geri kazanılabilir malzemelerin sisteme dâhil edilmesi
- Kolay geri montajının sağlanması
- Malzeme çeşitliliğinin azaltılması
- Parçaların etiketlenmesi
- Ürünlerin basitleştirilmesi (örneğin, parça sayısı)
- Malzeme tipinin standardize edilmesi



### 5. Ürün ve bileşenlerinin ömrünün uzatılması

- Yeniden üretim için tasarım
- Kalitesini yükseltebilecek şekilde tasarım
- Kolay bakım ve onarımı sağlayacak şekilde parçaların yapılması
- Tamir edilip yenilenmiş parçaların veya alt montajın sisteme dahil edilmesi

### 6. Ürün ömrünün bittiği zamana yönelik tasarım

- Güvenli bertaraf

## 2. Pazarlama

Pazarlama tüketici ve üretici arasındaki iletişimi sağlayan bir yöntemdir. Çevre konularındaki bilinçlenmenin artmasıyla, tüketiciler aldıkları ürünlerin veya verilen bir hizmetin çevreye olan etkilerini dikkate almaya başlamışlardır. Şirketler çevresel pazarlama için kriter ve kılavuzların geliştirilmesine öncelik vererek pazar paylarını arttırabilirler.

Çevresel pazarlama en az dört farklı türde ayırt edilebilir:

- ✓ Çevresel etiketleme
- ✓ Çevresel iddialar
- ✓ Çevre beyanları
- ✓ Organizasyon pazarlama
- *Çevresel etiketleme (ISO tip I – etiketleme)*; Çevre etiketi (ekoetiket) çevreye zararsız ürünler için “onay mührü” olarak görülebilir ve dolayısıyla pazarlama amaçları için cazip olabilir. Ulusal ve uluslararası ekoetiketleme programlarının genel amacı, tüketici tarafından açıkça görünür bir şekilde çevresel etkisi az olan ürünlerin üretimini sağlamaktır. ISO, Tip I etiketleme için “ISO 14020 Çevre Etiketleri ve Beyanları—Genel Prensipler Standardi”ni geliştirmiştir (Jensen vd., 1997).

23 Mart 1992 yılında Avrupa Konseyi tarafından çevreyle ilgili etiket üzerine bir yönerge benimsenmiştir. Bu yönerge gönüllü bir çevreyle ilgili etiket planı hazırlayarak;

- Tüm Yaşam döngüsü boyunca azaltılmış çevresel etkiye sahip ürünlerin tasarımı, üretimi, pazarlanması ve kullanımının desteklenmesini
- Ürünlerin çevresel etkileri konusunda daha iyi bilgi ile tüketicilere sunmak, ancak ürün yada işçilerin güvenliğinden taviz vermeksizin ve önemli ölçüde ürün özelliklerini etkilemeden kullanım için elverişli ürün üretmeyi hedeflemiştir (Jensen vd., 1997).

Çevre etiketinin amaçları;

- 1) Çevrenin korunması; Çevresel etiketleme programları sayesinde hükümetler ve sivil toplum programı yetkilileri tüketici kararlarını etkilemeye çalışmışlardır. Ayrıca çevre açısından tercih edilen ürünlerin üretimi ve tüketimine, hizmetlerin tedariki ve kullanımına teşvik etmişlerdir. Bu bağlamda çevresel etiketleme çevresel iyileştirmeyi sağlamak için tasarlanmış piyasa tabanlı araç olarak hizmet vermektedir. Spesifik çevresel hedefleri:
  - Gelecek kuşaklara sürdürülebilirliği sağlamak için yenilenebilir kaynakların verimli yönetimine teşvik,
  - Fosil yakıtlar dahil olmak üzere yenilenebilir olmayan kaynakların etkin kullanımına teşvik,
  - Endüstriyel, ticari ve tüketici atığın azaltılmasını, yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü kolaylaştırmak,
  - Ekosistemlerin ve türlerin çeşitliliğinin korunmasına teşvik,
  - Ürünlerde kimyasalların doğru yönetimine teşvik şeklinde sıralayabiliriz.
- 2) Çevreye duyarlı yeniliklerin desteklenmesi; Çevresel etiketleme programları ürünlerin çevre üzerindeki etkilerinin azaltıldığı yenilikçi ve ilerici çalışmalara teşvik etmektedir.
- 3) Çevre konularında tüketici bilincinin artırılması; Çevresel etiketleme programları çevre konularında tüketici bilincini yükseltmek için kullanılmaktadır. Tüketici bilinci yüksek olan ülkelerde ürünlerinin çevresel etkileri hakkında güvenilir bilgi sağlayan çevresel etiket ürünlerin seçimi için gereklidir (GEN, 2004).

Çevre etiketinin uygulanması; Şekil 1.13.'de görüldüğü gibi altı adımdan oluşmaktadır (Taygun, 2005);

Adım 1: Başlangıç adımı

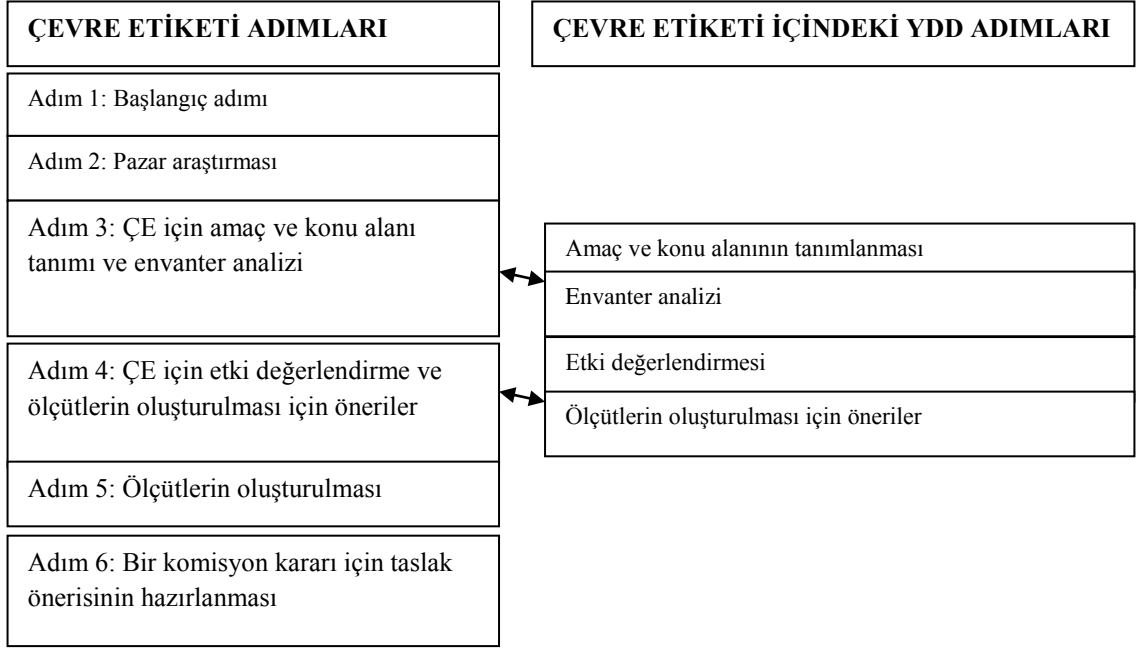
Adım 2: Pazar araştırması

Adım 3: Çevre etiketi için amaç ve konu alanı tanımı ve envanter analizi

Adım 4: Çevre etiketi için etki değerlendirme ve ölçütlerin oluşturulması için öneriler

Adım 5: Ölçütlerin oluşturulması

Adım 6: Bir 'Komisyon Kararı' için taslak önerisinin hazırlanması



**Şekil 1.13.** Çevre etiketinin uygulama adımları (Taygun, 2005)

Çevre etiketi uygulamasında ekolojik ve çevresel performans ölçütlerine tam olarak uyan ürünler ‘çiçek’ (Şekil 1.14.) logosu ile etiketlenmektedir. Farklı ürün grupları için üye ülkelerde kullanılan bu logo tüketicilere ürünün üstün bir çevresel performansa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, çevre etiketli ürünlerin marka imgesi değerlendirilmekte ve gelişmekte, bu ürünlerin tasarımcı ve kullanıcı tarafından seçilme oranı da artmaktadır (Schmidt vd., 2002).



**Şekil 1.14.** AB çevre etiketi logosu (Schmidt vd., 2002)

Çevre etiketinin özellikleri;

1) *Güvenilir olması:*

- Bilimsel araştırmalara dayanır,
- Çevreciler ve tüketici kurumlar tarafından kabul görür,
- Devlet otoriteleri ve sivil toplum örgütleri tarafından desteklenir,
- Bağımsız bir kurum tarafından onaylanır,
- Çevre ile ilgili yasalarla uyumludur,

2) *Anlaşılır olması:*

- Tüketiciler için ürün seçenekleri oluşturmayı kolaylaştırır,

3) *Seçici olması:*

- Çevresel etkisi en az olan ürünler bu etikete hak kazanır,

4) *Güncel olması:*

- Ürünlerin değerlendirildiği ölçütler ve sınıflamalar güncellenir, gerektiğinde de düzeltilebilir,

5) *Çoklu ölçüt yaklaşımı ile çalışması:*

- Ürünün olası tüm çevresel etkilerinin araştırılması için tüm yaşam döngüsünün analizi yapılır,

6) *Avrupa boyutlarına sahip olması:*

- Çevre etiketine sahip ürünler üye ülkelerde satılabilir,

7) *Zorunlu bir uygulama olmaması;*

- Ticarete herhangi bir engel oluşturmaz, AB üreticileri ve yabancı üreticiler çevre etiketsiz ürünler satabilir (GEN, 2004).

Çamaşır makineleri, bulaşık makineleri, buzdolapları, tuvalet kağıdı, kağıt havlular, çamaşır deterjanları, boyalar ve vernikler, ampuller, fotokopi kağıdı gibi ürünler için ekolojik kriterler komisyon tarafından benimsenmiş ve yayınlanmıştır (Morris, 1997).

Sonuç olarak çevre etiketi, AB'ye üye olan devletlerin kabul ettiği ortak bir politikanın sonucudur. Ürünün üretildiği ya da satıldığı üye ülkeye bakılmadan aynı ürün için aynı ölçüt istenmektedir (Taygun, 2005).

- *Çevresel iddialar (ISO tip II – etiketleme);* Çevreyle ilgili talep, ISO (TS EN ISO 14021 Çevre etiketleri ve beyanlar—Çevre ile ilgili iddiaların öz beyanı) tarafından tanımlanmıştır. Bir ürünün veya hizmetin çevresel yönlerini gösteren beyanı veya etiketi ürün broşürü, ürün veya ambalaj etiketleri, teknik bültenler, reklam, tanıtım veya benzer uygulamalar üzerinde ifadeler, semboller veya grafikler şeklinde olabilir. Çevresel iddialar genellikle yıl veya ayın çevre sorunu ile ilgili ve tek boyutlu olur. Örneğin, “Kursunsuz benzin”, “CFC içermeyen saç spreyi”, “Fosfat içermeyen deterjan” vb. Çevre açısından tercih edilen ürünleri pazarlama için resmiyet yöntemlerinin tanıtılması ve tüketicinin çevre bilincinin artırılması ile birlikte çevresel iddiaların kullanımı muhtemelen azalacaktır (Jensen vd., 1997).
- *Çevre beyanları (ISO tip III – etiketleme);* Çevresel etiket veya beyanının tanımı için en yeni ISO önerisi, bir ürünün çevresel talep iletişimi ürün veya ambalaj etiketleri, ürün belgeleri, teknik bültenler, reklam, tanıtım ve benzeri

uygulamalarda bilgiler, semboller veya grafikler şeklinde olabilir. Tüketicilerin bireysel karar verme süreci ve bir ürünün yaşam döngüsü incelenmesinden elde edilen sonuçları aktarmak için çevre beyanları eko-pazarlama aracı olabilir. Eko-etiketlerden farklı olarak çevresel beyanlar, ürünün aynı hizmeti yerine getiren diğer ürünlere göre daha iyi olup olmadığı konusunda bilgi içermemesi ve tarafsız olmasıdır. İki veya daha fazla çevresel beyanlar, ürünler arasındaki asıl farkı gösterebilir ve çevreye duyarlı tüketiciler etiketli ürünler arasında seçim yapabilirler. LCA kullanımı böylece çevre beyanları için bir ön koşuldur.

- *Organizasyon pazarlama*; Çevresel performansın klasik pazarlaması ürünlere doğru yönelmiştir. Ancak, ISO 14001'e göre belgelenmiş olan şirketlerin sayısının artması ile birlikte, şirketin çevresel yeteneklerine doğru bazı pazarlama girişimleri yönlendiriliyor. Sertifikasyon için kuruluşlar gerekli politikaların uygulanması gibi çevre yönetim sistemi aracılığıyla yaşam döngüsü düşünme ve LCA prosedürlerinin uygulanmasını resmileştirmek için teşvik edilir (Jensen vd., 1997).

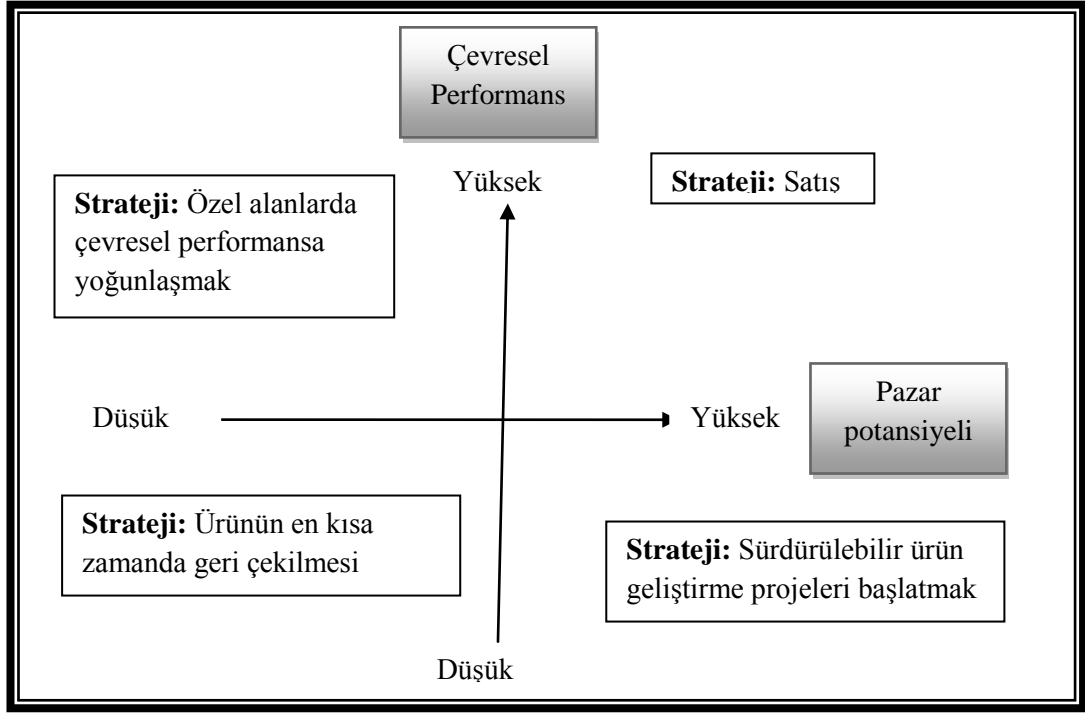
### 3. Stratejik planlama

Stratejik iş planlaması ile çevresel bakış açılarının birleştirilmesi birçok şirketlerde ortak özellik haline gelmektedir. Şirketleri bu kararı vermeye yönlendiren birçok faktör vardır.

Bu faktörler;

- Tüketici talepleri
- Mevzuata uyum
- Çevresel iyileştirme için toplum ihtiyaçları
- Tedariğin güvenliği
- Ürün ve pazar olanakları

Çevresel performans, ürünlerin yasalara göre yerine getirilmesi gereken zorunlu bir özellik değil de pazarda büyük avantaj sağlayan bir özellik haline gelmeye başlamıştır. Bu bağlamda LCA yaklaşımı çok önemli bir araçtır. LCA yaklaşımı bugün ve yakın gelecekte tüketicilerin çevresel taleplerini karşılamak için çevre açısından zararsız ürün oluşturmanın pazar payındaki yerini belirlemede kullanılabilir. Çevresel performans ve pazar potansiyelleriyle ilgili olarak bazı temel ürün stratejileri Şekil 1.15.'de görülebilmektedir (Jensen vd., 1997).



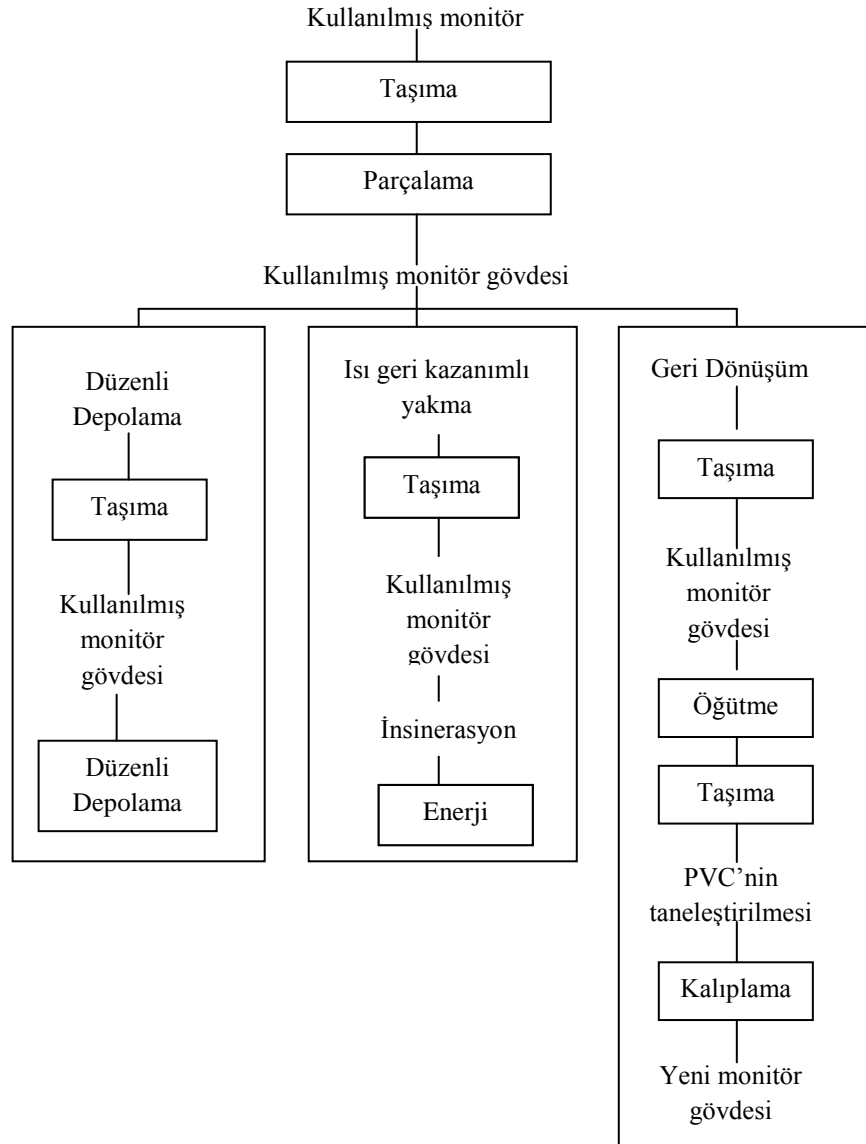
**Şekil 1.15.** Çevresel performans ve pazar potansiyelleri ile ilgili temel ürün stratejileri (Jensen vd., 2007)

LCA bilgisi, karar verici kişilerin ürünlerinin ve hizmetlerinin çevresel açıdan artı ve eksilerini görmelerine yardımcı olabilir. Şirket, üst yönetim ve çalışanları tarafından anlaşılabilir şekilde LCA çalışmasının sonuçlarını sunmalıdır. Ayrıca şirket içinde ekoloji ve çevre modelleme gibi çevre konularında eğitimler düzenlenmelidir. LCA kullanılarak elde edilen strateji de maksimum güven sağlamak için detaylı bir yaklaşım ele alınmalıdır. Fakat bazı iş kararları bekleyemediğinden kısa vadede basitleştirilmiş LCA uygulanarak pazardaki ürünler arasındaki farkların ve problemlerin belirlenmesi sağlanabilir. Uzun vadede şirket içinde yapılacak daha sistematik bir LCA çalışması ise veritabanı oluşturulmasını ve tüm aktiviteler için uygun kararlar verilmesini sağlayacaktır (Jensen vd., 1997).

#### 4. Proses seçimi ve modifikasyonu

LCA alternatifler arasında en iyi kirlilik önleme ve atık azaltma potansiyeli olanı belirlemek üzere kullanılmaktadır. Proses modifikasyonlarına dayanan bir LCA çalışması üretim prosesinden bağımsız olarak son ürünün aynı olması ve aynı çevresel etkilere sahip olması nedeniyle basitleştirilebilir. Bu tür bir çalışma ürün veya hammaddeyi depolamadaki farklılıklar, üretimdeki farklı enerji ihtiyaçları, üretim verimleri, farklı yan ürünler ve atıklar gibi aşamalarla sınırlandırılabilir (Çokaygil, 2005).

Örneğin; IBM tarafından yapılan bilgi teknoloji ekipmanlarında kullandığı malzemelerin çevresel etkilerini değerlendirme çalışmalarından birinde PC monitorlarında kapak malzemesi olarak kullanılan geri dönüştürülmüş PVC miktarındaki artışa bağlı etkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sahada IBM tarafından toplanan kullanılmış ve atık monitörlerin gemiyle PVC geri dönüşüm tesisine gönderildiği ve tekrar IBM'e yeni monitörler yapmak üzere döndüğü bir kapalı sistem geri dönüşüm seçeneğini, birisi hurda ürünlerin düzenli depolanması, diğeri ise enerji geri kazanımlı yakma olmak üzere iki ayrı bertaraf seçeneği ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada Şekil 1.16.'da görüldüğü gibi geri kazanım ve bertaraf seçenekleri üzerine yoğunlaşıldığı için LCA'nın kapsamı da bu sistemlerle sınırlı tutulmuştur (Çokaygil, 2005).



**Şekil 1.16.** IBM tarafından üretilen PVC monitörler için üç farklı bertaraf senaryosu (Çokaygil, 2005)

## 5. Kavramlarla ilgili programlar

SETAC tarafından kullanılan “Kavramlarla İlgili Programlar (CRP)” terimi, çevre yönetimindeki çevresel karar vermeyi destekleyici olan yaklaşımları geniş çaplı olarak tanımlamaktadır (Jensen vd., 1997).

*1. Yaşam Döngüsü Yönetimi;* Yaşam döngüsü yönetiminde ana fikir, firma tarafından üretilen ürünlerin çevresel yüklerine dair bilgiyi tespit etmek ve bu bilgiyi iyileştirme faaliyetleri için kullanmaktır. Bu yöntem üretim tesisinde her birim işlemlerin belirlenmesi, ilgili tüm girdi ve çıktılarının analizi ile başlar. Bu yaklaşımdan elde edilen sonuçlar LCA oluşturulmasında kullanılabilirdiği gibi çevresel yükleri azaltmada da kullanılabilir

*2. Ürün yönetimi;* Ürün yönetimi, “başlangıçtan itibaren nihai kullanıma kadar olan gelişim sürecinde üründen sorumlu ve etik yönetim” olarak tanımlanmaktadır. Ürün yönetiminin amacı sağlık, güvenlik ve çevre korumayı ürünlerin tasarım, üretim, pazarlama, dağıtım, kullanım, geri dönüşüm ve bertaraf aşamalarının bir parçası haline getirmektir. LCA ile ilişkisi olmasına rağmen en belirgin farklılık çevresel etkilerin tüm yaşam döngüsü boyunca ele alınmamış olmasıdır.

*3. Temiz üretim;* Temiz üretim, UNEP tarafından “insanlara ve çevreye olan riskleri azaltmak için ürünlere ve proseslere önleyici çevre stratejisinin sürekli uygulanması” olarak tanımlanmaktadır. Üretim prosesi için temiz üretim hammaddelerin korunmasını, tüm emisyonların ve atıkların miktarlarının ve toksikliklerinin azaltılmasını içermektedir. Ürünler için bu strateji, hammadde eldesinden ürünün nihai bertarafına kadar tüm yaşam döngüsü boyunca oluşacak etkileri azaltmaya yoğunlaşmaktadır. LCA ile ilgili olarak temiz üretim programlarından elde edilen sonuçlar ürünlere ve süreçlere değerli bilgi kaynakları sağlayabilir.

*4. Endüstriyel ekoloji;* Endüstriyel ekoloji, “endüstriyel proseslerin birbirleriyle sadece ekonomik olarak değil aynı zamanda birbirlerinin madde ve enerji atıklarını doğrudan kullanarak oluşturdukları ağ” olarak tanımlanmaktadır. Bu programın analiz amacı ürünlerden çok endüstriyel proseslerle ilgilenmektedir.

*5. Çevresel performans değerlendirilmesi;* Çevresel performans değerlendirme kavramı, bir sistemin çevresel yönlerini araştırmak, ölçmek ve anlamak için Çevre Yönetim Sistemi’nde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ana düşünce, sürekli iyileştirmeleri kolaylaştırmak için ölçülebilir ve izlenebilir belirtileri tespit etmektir (Jensen vd., 1997).



6. *Teknoloji Değerlendirmesi*; Teknoloji değerlendirme, “yeni teknolojilere girmenin etkilerinin değerlendirilmesi” olarak tanımlanabilir. Teknoloji değerlendirme ve LCA arasındaki en önemli fark, teknoloji değerlendirmesinde geniş çapta ekonomik, sosyal ve çevresel yönler dikkate alınırken, LCA’da sadece çevresel etkilerin ele alınmasıdır. LCA dolayısıyla teknoloji değerlendirmesinin ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilebilir.

7. *Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED)*; ÇED, insan faaliyetlerinin insan sağlığı ve refahı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve ölçülmesine yönelik bir aktivitedir. ÇED genellikle, özel bir alanın yapımının neden olacağı çevresel etkilerin araştırılma evresinde kullanılır. Yayılan kirleticilerin konsantrasyonu ve maruz kalma süresi gibi yönleri dikkate alındığından ÇED’in ayrıntı seviyesi genellikle LCA’dan daha yüksektir. ÇED, detaylı LCA’ya doğru veri sağlamada ve basitleştirilmiş LCA’larda kontrol için referans alınmada kullanılabilir.

8. *Risk Analizi (RA)*; Risk analizi tehlikeli maddelerin taşınması veya özel maddelerin kullanılması gibi belirli durumlardan kaynaklanan insan sağlığına ve çevreye olan potansiyel riskleri araştırmak için geliştirilen araçtır. Tüm durumlarda RA, aynı zamanda çoğu LCA’da da kullanılan tehlike belirleme ve etki analizinden oluşan en az iki basamak içerir. Etki analizi, ele alınan aktiviteden kaynaklanan emisyonlara ilişkin önemli bilgiler sağlayabilir ve tehlike belirleme kullanılan metodolojiye bağlı olarak etki değerlendirmesine yardımcı olabilir.

10. *Enerji ve malzeme analizi (EMA)*; İncelenen sistemde giren ve çıkan tüm enerji ve malzemelerin sayısallaştırılmasından sonra enerji ve malzeme analizi LCA’daki envanter aşaması ile büyük ölçüde benzer. Önemli fark enerji ve malzeme analizi ürünün tüm yaşam döngüsünü içermez, bunun yerine üretim süreci üzerinde durulmaktadır. Başka bir fark enerji ve malzeme analizinden elde edilen sonuçlar potansiyel çevresel etkileri açık bir şekilde aktarmamıştır (Jensen vd., 1997).

#### **1.2.6.2. Kamusal uygulamalar**

Sürdürülebilir kalkınma 1992 Rio Zirvesi’nden bu yana çoğu devletin kalkınma planlarında önemli bir öge olarak dahil edilmiştir. Yaşam döngüsü yaklaşımının daha sürdürülebilir bir geleceğe doğru yapılacak eylemlerde kullanılması gerekmektedir. LCA stratejik bir araç iken risk değerlendirme, çevresel etki değerlendirme, fayda maliyet analizi ve bunlar gibi diğer araçlarla kullanıldığında ülkelerin sürdürülebilirlik politikalarını etkileyebilecek bir araç olarak görülebilir. LCA, genel politika stratejilerinin geliştirilmesinde değerli bilgiler sağlayabilir. Örneğin elektrik üretimi

için yakıt seçimi; tren, gemi ve karayolu ile yük taşımacılığının değerlendirilmesi; atık yönetim seçeneklerinin değerlendirilmesi. İşlevleri aynı olan ürünlerin LCA'larının karşılaştırılması ülkeden ülkeye farklılık gösterir. Bu farklılıklar coğrafi sınırların, koşulların, veri kalitesinin ve değerlendirme yönteminin farklılığından ileri gelmektedir (Jensen vd., 1997).

LCA'nın, eşit düzeyde ürünleri karşılaştırma veya ürünlerin çevresel standartları ne derecede sağladığını belirlemedeki yararının farkına sadece endüstriler değil, aynı zamanda devletler ve çevresel gruplar da varmıştır. LCA'dan elde edilen sonuçlar devlet tarafından yasal düzenlemelerde kullanılmaktadır. Ancak, LCA tekniklerinin kamusal karar verme yönündeki bir parçası olarak uygulanması yavaş ilerleyen bir süreç olup, bu yöndeki gelişmeler devam etmektedir. Örneğin ABD'de 1993 yılında imzalanan ve EPA'nın "çevre dostu ürünlerin ve hizmetlerin" alınmasını önerici bir tutum sergilemesini gerektiren Federal Kazanç, Geri Dönüşüm ve Atık Önleme Hakkında Kanun Hükmünde Kararname (Executive Order on Federal Acquisition, Recycling and Waste Prevention) LCA sistematığına dayanmaktadır (Çokaygil, 2005).

### **1.2.7. LCA'ya yönelik modeller**

#### **1.2.7.1. LEED' modeli**

'LEED', çevre etiketi ve LCA yöntemlerini bir araya getirerek yapının yaşam döngüsü boyunca çevresel performansını değerlendirmek amacı ile USGBC tarafından oluşturulmuş bir programdır. USGBC; mimarlar, yapı ürünü üreticileri, mal sahipleri, yükleniciler ve çevre grupları tarafından 1993 yılında oluşturulan bir kurumdur. 'LEED' modeli yapı değerlendirmesini denetim listesi aracılığı ile yapmaktadır. Denetim listesini oluşturan çevresel etki alanları aşağıda belirtilmiştir (Taygun, 2005).

- Sürdürülebilir Alanlar
- Su Tasarrufu
- Enerji ve Atmosfer
- Ürünler ve Kaynaklar
- Yapı İçinin Çevresel Niteliği
- Yenileme ve Tasarım Süreci

#### **1.2.7.2. Athena modeli**

'Athena' Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü bireylerin, şirketlerin, yönetimlerin ya da diğer kurumlarının üyelikleri ile yapılanmaktadır. Hammadde edinimi ile ilgili kapsamlı çevresel konular, farklı yapı ürünlerinin üretim süreci, ürünlerin yapıda ve yapımda

kullanımları, yapının yıkılması ve yok edilmesine ilişkin ayrıntılı bilgiye sahip uzman kişi ve kurumlar enstitünün araştırma ekibini oluşturmaktadır.

Kullanıcıların gereksinimlerini karşılamak amacı ile enstitünün sunduğu danışmanlık ve uygulama alanları (Taygun, 2005);

- Belirli yapıların çevresel değerlendirmeleri,
- Ürün ya da üretim sürecinde LCA' nın ilkeleri ve uygulanması,
- 'Athena' kullanımına ilişkin eğitim,
- Kullanıcının sürdürülebilirlik çalışmalarında yol göstericilik ve öneriler

### **1.2.7.3. BEES modeli**

NIST Sağlıklı ve Sürdürülebilir Yapılar Programı 1994 yılında BEES projesini başlatmıştır. BEES'in amacı; çevresel ve ekonomik performansları en iyi olan yapı ürünlerini seçmek için sistematik bir yöntem geliştirmek ve yürütmektir. Standartlara dayalı yöntem pratik, esnek, çok renkli grafiklerle anlaşılması kolay ve karşılaştırmalı sonuçlar çıkarabilmektedir.

'BEES' modelinin adımları (Taygun, 2005);

- Çevresel performans
  - Amaç ve konu alanı tanımı
  - Envanter analizi
  - Etki değerlendirmesi
  - Değerlendirmenin yorumlanması
- Ekonomik performans
- Toplam performans

### **1.2.7.4. BRE modelleri**

İngiltere' de yapı, yapım, enerji, çevre, yangın ve risk konularında uzman olan BRE tarafından tüketicilere danışmanlık yapma, ölçüm ve sertifika verme amaçlı araştırmalar düzenlenmektedir. 'BRE' planlamacılara, mimarlara, tasarımcılara, yapı sahiplerine ve yöneticilere yapı içinde ve dışında konforlu, verimli, güvenli ve sağlıklı çevreler oluşturma becerisini vermekte ve ayrıca verimin artırılmasında ve riskin azaltılmasında yardımcı olmaktadır. 'BRE' yapılarda can kaybına, ekonomik ve çevresel zararlara yol açan tehlikeleri değerlendirebilmekte, riskleri tahmin edebilmekte ve pratik çözümler oluşturabilmektedir.

‘BRE’ modelleri (Taygun, 2005);

- a) ‘**BREEAM**’; ofis, ticaret ve endüstri yapılarının çevresel performanslarının değerlendirilmesi ve geliştirilmesinde kullanılmaktadır.
- b) ‘**EcoHomes**’; konutların çevresel performanslarının değerlendirilmesi ve geliştirilmesini sağlamaktadır.
- c) ‘**Invest**’; ön tasarım sürecinde bir yapının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır.
- d) ‘**Environmental Profiles**’; tüm yapı ürünlerinin sürdürülebilirliğinin ölçülmesini sağlamaktadır.
- e) ‘**SMARTWaste**’; yapım atıklarının ölçülmesi, yönetilmesi ve azaltılması için geliştirilmiştir.

#### **1.2.7.5 Analytica modeli**

‘Analytica’; karar modellerinin tasarımı, analizi ve ifade edilmesi için görsel bir araçtır. Danışmanlık, sağlık ve çevre bilimleri, havacılık, petrol, yapı endüstrisi, üretim, finansal hizmetler ve yatırım alanlarında Analytica modeli kullanıcıları aşağıdaki kriterleri yapabilmektedir (Taygun, 2005):

- Proje değerlendirme,
- Mali modelleme,
- Karar destekleme ve analizi,
- Risk analizi ve yönetimi, risklerin azaltılması,
- Piyasa analizi,
- Olasılık simülasyonları,
- Alternatif senaryolar,
- Maliyet/kar değerlendirmeleri,
- Yönetim analizleri

#### **1.2.7.6.GaBi’ modeli**

‘GaBi’; ürünlerin yaşam döngüsü süresince sürdürülebilir bilgi yönetimi ve değerlendirmesi için kullanılan evrensel bir araçtır. ‘GaBi’ sera etkisi gazlarının hesaplanması, yaşam döngüsü değerlendirmesi, çevre tasarımı, enerji tasarrufu, çevresel raporlar, stratejik risk yönetimi ve toplam maliyet hesaplanması gibi alanlarda yönetim konusunda çözümler sağlamaktadır.

'GaBi' Analist; senaryo analizi, hassaslık analizi, parametre varyasyonları ve Monte Carlo analizi yapmaktadır. *Senaryo analizi* içinde parametreler, miktarlar ya da ağırlıklandırma gibi farklı sınırlılık durumlarının etkisi konusunda denge sonuçları belirtilmiştir. *Hassaslık analizi*, hassas denge sonucunun parametreler, miktarlar ve ağırlıklandırmaların değişimlerini nasıl etkilediğini göstermektedir. *Parametre varyasyonları* içinde kesin niteliklerin final sonuçlarına etkisi belirtilmektedir. *Monte-Carlo analizi* tüm etki faktörlerinin hesaplanması için kullanılan bir araçtır (Taygun, 2005).

#### **1.2.7.7. TEAM' modeli**

TEAM modeli Ecobilan'ın oluşturduğu bir LCA yazılımıdır. Ecobilan 1990 yılından beri endüstriye ve yönetimlere ürünlerin ve servislerin çevresel performansları, çevresel yönetim sistemleri, ekonomi, risk ve sosyal etki değerlendirmeleri konusunda çalışmalar yapan bir kurumdur. TEAM kullanıcının kapsamlı bir veritabanı oluşturması ve kullanmasını, ürünler, süreçler ve eylemler ile ilişkili işlemlerin gösterildiği bir sistemin modellenmesini sağlamaktadır. Ayrıca TEAM herhangi bir endüstriyel sistemin tanımlanmasına, ISO 14040 standartlarına göre olası çevresel etkilerinin ve YDE'lerinin hesaplanmasına, hassas analizlerin yapılmasına ve alternatif senaryolarının araştırılmasına olanak vermektedir. TEAM ile yapılan çalışmaların sonucu çizelge ya da grafiksel gösterimlerden birisi kullanılarak hazırlanabilmektedir (Taygun, 2005).

#### **1.2.7.8. GB Tool' modeli**

IISBE'nin sorumlu olduğu GBC değerlendirme yönteminin yazılımı olan 'GB Tool' yapıların çevresel ve sürdürülebilir performansının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. GB Tool'da değerlendirmeler ön tasarım, tasarım, yapım ve kullanım gibi dört farklı yaşam döngüsü sürecinde yapılmaktadır (Taygun, 2005).

#### **1.2.7.9. Woolley' modeli**

İnşaat sektörünün önde gelen topluluklarından biri olan BSRIA yeşil yapı ve sürdürülebilir yapı'yı "kaynak tasarrufu ve ekolojik ilkelere dayanan sağlıklı yapay çevre oluşturulması ve mantıklı bir biçimde yönetilmesi" olarak tanımlamaktadır. Yeşil yapı, sürdürülebilirlik, çevre ile dost yapı, ekoloji, enerji tasarrufu gibi konuların tartışıldığı süreçte Tom Woolley ve çalışma arkadaşları kullanıcıların ve tasarımcıların en iyi sonuca ulaşmasına ve en doğru kararları alabilmesine yardımcı olmak amacı ile bazı yapı malzemelerinin ve ürünlerinin çevre üzerine etkilerini gösteren Woolley

modelini oluşturmuştur. Woolley modelinde yapı ürünlerinin çevre etkilerinin değerlendirilmesi üretim ve kullanım olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır (Taygun, 2005).

#### **1.2.7.10. Curwell ve March modeli**

Curwell ve March modeli yapının tasarımı, yapımı, bakımı ve yapılan değişiklikleri kapsayan süreçlerde tasarımcıların sağlığa ve çevreye en az zararlı, ancak teknik ve görünüş olarak en yeterli ve mantıklı sınırlar içinde kalan ürünü seçmelerine yardımcı olmak amacıyla tasarlanmıştır (Taygun, 2005).

#### **1.2.7.11. ‘Eco—Quantum’ modeli**

EQ, yapının tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini hesaplayan bilgisayar aracıdır. EQ modelindeki yaşam döngüsü yapıda kullanılan ürünlerin hammaddelerinin edinimi, üretim, uygulama veya kullanım, yıkma, geri dönüşüm ve ürünün geri kullanımına kadar olan süreçleri kapsamaktadır. EQ’yu kullanıcılar ve sivil örgütler yerleşim programları için çevresel hedeflerin belirtilmesinde ve mimarlar ise tasarımlarının çevresel koşullarını iyileştirmek için kullanmaktadır (Taygun, 2005).

#### **1.2.7.12. SimaPro Modeli**

‘Pre Consultants’ kurumu tarafından geliştirilen bir LCA aracıdır. SimaPro modeli ürünlerin ve servislerin çevresel performanslarının değerlendirilmesini sağlamaktadır. ISO 14040 standart serilerini izleyen sistematik ve kolay anlaşılır bir yol ile karmaşık yaşam döngülerinin modellenmesini ve analizini kolaylaştırmaktadır.

‘SimaPro’ 1990’da oluşturulmuştur. Ana endüstriler, danışmanlık hizmetleri ve üniversiteler tarafından kullanılmaktadır. Elli ülkede satılan ve çok sayıda lisanslı kullanıcısı bulunan SimaPro’nun özellikleri (Taygun, 2005):

- Kullanıcının programı kendi kendine öğrenilebilmesi ve ISO 14040 standardını izleyebilme,
- Modelin her aşamasında doğrudan etki değerlendirme hesaplamaları yapabilme,
- ‘Monte Carlo’ analizini yapabilme,
- Uygun bir pencere içinde tüm sonuçları sunabilme,
- Analizde önemli noktaların belirlenmesi için ağaç yöntemini kullanma,
- Tüm sonuçlar için kapsamlı seçenekler oluşturabilme,
- Atık yönetimi ve geri dönüşüm senaryolarının analizini yapabilme

### **1.3. Otomotiv endüstrisinde kullanılan alüminyum ve plastik matrisli kompozit malzeme**

#### **1.3.1. Alüminyum metali ve üretimi**

Petrol türevi yakıtların endüstri devrimiyle başlayarak her geçen gün azalıyor olması sınırlı olan bu enerji kaynağının daha etkin kullanılma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu yakıt türüne tamamiyle bağımlı olan otomotiv sektörünün CO<sub>2</sub> emisyonuyla global ısınmaya olan katkısı göz önüne alındığında hükümetlerin ve dünya çapındaki bazı organizasyonların getirdiği ulusal ve uluslararası düzenlemeler otomotiv sektöründe ilk ve en başlıca önlem olarak araçların ağırlıklarının hafifletilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Günümüzün enerji bilinci gelişmiş toplumları, taşıt araçları üretirken, yakıt tüketimini azaltmak ve yük taşıma kapasitesini arttırmak için çalışmaktadırlar. Otomotiv üreticileri bir yandan ekolojik dengenin korunmasını düşünürken diğer yandan, bu amaçla ürettikleri malzemelerin ekonomik olması gereklidir. Bu sebeple otomotiv endüstrisinde güvenlikten ödün vermeden, konfordan vazgeçmeden, az yakıt tüketen otomobiller yapmak için yüksek mukavemeti olan, dayanıklı ve aynı zamanda hafif malzemelerin geliştirilmesi otomobil üreticilerinin önemli hedefi olmuştur.

Alüminyum güçlü, dayanıklı ve hafif bir malzemedir. Otomobillerde hafif metal kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte alüminyum da otomotiv endüstrisine girmiştir. Bu gelişmeye paralel olarak günümüzde ortalama bir arabada çok çeşitli alüminyum parçalar kullanılır hale gelmiştir (Özcömert, 2006; Özdemir, 2010).

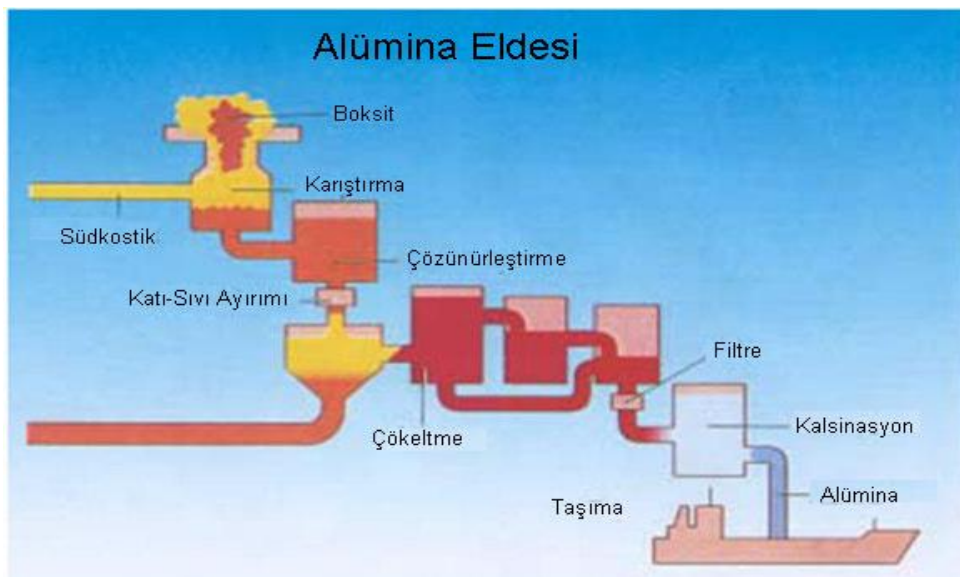
Alüminyum üretimi üç kademe yapılr. Birinci aşama boksit madeninden Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> elde edilmesidir. Bu aşama Bayer yöntemi olarak adlandırılan bir yöntemle gerçekleştirilir. İkinci aşama alüminadan alüminyum üretimi ise (950–970)<sup>0</sup>C arasında alüminyum oksidin redüksiyonuna dayanan Hall–Heroult yöntemi olarak bilinen bir indirgeme işlemi olan elektroliz aşamasıdır. Buradan çıkan alüminyum %99,5–99,9'dan daha fazla saf değildir. Saf alüminyum (%99,99) elde etmek için ayrıca rafinasyon işlemi uygulanmalıdır. Çizelge 1.3'de saf alüminyumun doğada bulunduğu bileşimleri gösterilmiştir (Özdemir, 2010).

**Çizelge 1.3.** Saf Alüminyumun Bileşimi (Özdemir, 2010)

Bileşen	%
Fe	0,0005—0,002
Cu	0,0005—0,002
Si	0,002—0,005
Zn	0,0005—0,002
Mg	İz
Al	Geri kalan

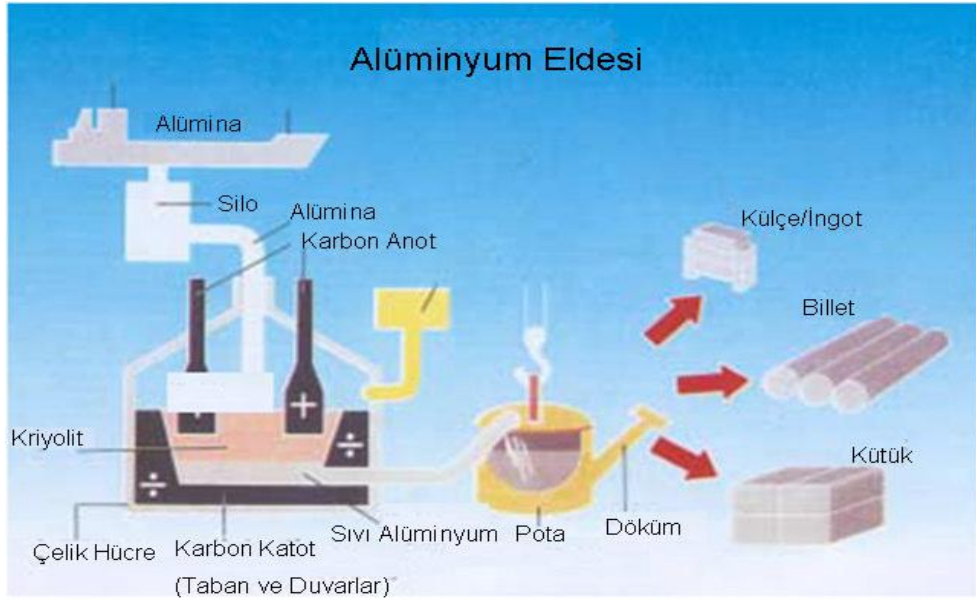
Bugün birkaç istisna dışında dünyada alümina ve alüminyum üretiminde Bayer prosesi kullanılmaktadır. Bu proses ile alümina üretimi sırasında boksitin liç artığından ortaya çıkan ve çözünmeyen sodyum alüminyum silikatlar, demir ve titan oksitleri içeren kırmızı çamur atığı oluşur. Bayer prosesinde ortalama bir ton alümina veya 0,5 ton alüminyum metaline karşılık bir ton kırmızı çamur oluşur. Kırmızı çamur alümina üretiminin en büyük atık sorunudur. Alüminyum cevherlerinin sodyum hidroksit içerisinde çözündürülmesi esnasında silisyum bileşenlerinin çözünmesi ve daha sonra çözünmeyen sodyum alüminyumun silikat oluşturması nedeniyle düşük silisli ve yüksek alüminalı alüminyum cevherleri tercih edilmektedir. Yüksek silisli boksit cevherlerinden alümina üretimi için asidik prosesler üzerinde çalışmalar ayrı bir önem kazanmıştır. Ayrıca demir bileşeninin de asit çözeltilerinde çözünebilmesi bir yan ürünün elde edilmesine imkân vermektedir (Darıdereli, 2010).

Şekil 1.17.'de birincil alüminyum üretiminde uygulanan yöntemlerden alumina eldesi, Şekil 1.18.'de ise alüminyum eldesi gösterilmiştir.



**Şekil 1.17.** Alümina eldesi (Özdemir, 2010)

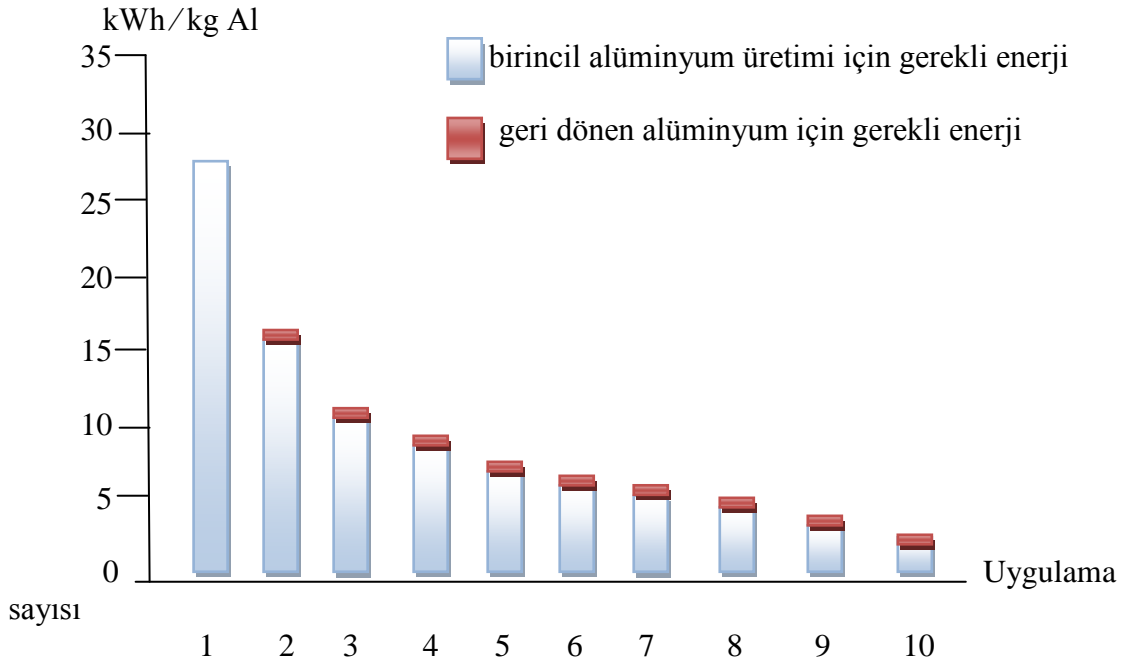




**Şekil 1.18.** Alüminyum eldesi (Özdemir, 2010)

### 1.3.2. Alüminyumun geri dönüşümü

Alüminyumun en önemli özelliği geri kazanılabilirliğidir. Bu özelliği ile alüminyum tükenmeyen bir kaynak olurken, ikincil üretimde inanılmaz ölçüde daha az enerjiye ihtiyacı vardır. Alüminyumun hurdalardan geri kazanımı, günümüz alüminyum endüstrisinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Geri kazanım prosesi, metalin basitçe tekrar ergitilmesi esasına dayanmaktadır ve bu yöntem metalin cevherinden üretimine nazaran çok daha ekonomiktir. Geri kazanım prosesi 1900'lü yılların başlarından beri uygulanmaktadır. 1960'lı yılların sonlarına kadar çok az uygulanan geri kazanım olgusu, bu tarihte içecek kutularının alüminyumdan yapılmaya başlanması ile gündeme daha yoğun şekilde gelmiştir. Diğer geri döndürülen alüminyum kaynakları arasında otomobil parçaları, pencere ve kapılar, cihazlar ve konteynerler sayılabilir. Alüminyumun rafinasyonu çok yüksek miktarlarda elektrik enerjisi gerektirmektedir, buna karşılık geri kazanım prosesi, üretimde kullanılan enerjinin %5'i kadardır. Şekil 1.19'de geri dönüşen alüminyumun uygulama sayısına bağlı olarak ortalama enerji gereksinimi verilmiştir. Ergitme ve döküm için gerekli enerji alüminyum elektrolizi için gerekli olan enerjinin sadece %5-8'i kadardır (Özcömert, 2006; Özdemir, 2010).



**Şekil 1.19.** Geri dönüşen alüminyumun uygulama sayısına bağlı olarak ortalama enerji ihtiyacı (Özdemir, 2010)

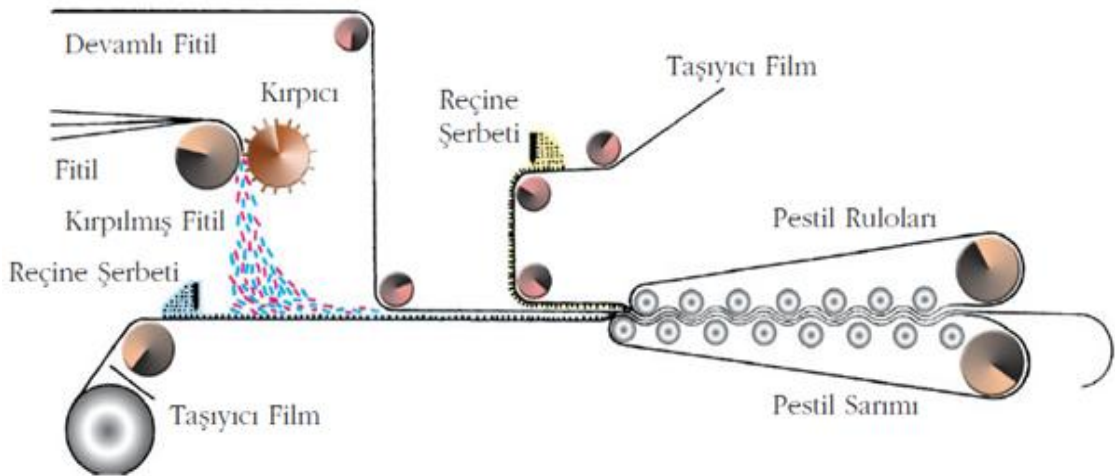
Kullanılmış alüminyum tekrar tekrar alüminyum üretiminde kullanılabilir. Kullanılmış alüminyum geri kazanılarak sadece katı madde miktarı azaltılmaz, aynı zamanda boksit madeni doğal kaynağı ve enerji korunmuş olur. 1 kg alüminyum kutu geri kazanıldığında 8 kg boksit madeni, 4 kg kimyasal madde ve 14 kWh elektrik enerjisi kullanımı korunmuş olur. (Öztürk, 2003; Kırıl, 2008)

Kullanılmış alüminyum geri kazanılıp üretime sokulduğunda %99 oranında baca gazı kirletici emisyonu azalır. Kullanılmış alüminyum geri kazanılması demek, daha az enerji ve hammadde tüketimi demektir. Kullanılmış alüminyumdan alüminyum üretilerek sera gazı emisyonu %95 ve atık su kirlenmesi %97 oranında azaltılabilir. Doğal kaynakların korunması, işletme maliyeti, enerji ve işçilik giderlerinin minimize edilmesi için kullanılmış alüminyum malzemeler kaynaktan ayrı toplanmalıdır. Kullanılmış alüminyumun imhası geri dönüşüm sisteminin bir ögesi olmamalıdır. Alüminyum diğer ambalaj atıklarına göre daha fazla geri kazanılmaktadır. Çünkü kullanılmış alüminyumdan alüminyum üretimi orijinal hammaddeden alüminyum üretimine göre daha çok ucuza mal olmaktadır. Diğer önemli husus alüminyum sanayicileri, kullanılmış alüminyumun geri kazanılmasının önemine ve ekonomik değerine inanmaktadırlar. Dolayısıyla alüminyum sanayicileri geri dönüşümü aktif olarak desteklemektedirler. Geri dönüşümün artması ve kararlı hale dönüşmesi için programlar yapmaktadırlar (Öztürk, 2003; Kırıl, 2006).

### 1.3.3. Plastiğin (SMC) üretimi

Günümüzde kullanılan kompozitler cam fiber reçine ( polyester ), tungsten, molibden takviyeli alüminyum, karbon ve çelik fiber takviyeli plastiklerdir. Bunlar genellikle plastik/plastik—plastik/dolgu maddesi—plastik/cam elyaf—plastik/metal fiber—metal matrisli kompozitler—seramikler olarak sınıflandırılmaktadır. Bakım ve onarım bakımından daha avantajlı olan kompozit malzemeler aynı zamanda hafif, uzun ömürlü ve süratli olmaları nedeniyle imalat sanayisinde tercih edilmektedir. Doğrudan doğruya istenilen maksatta kullanılmayan en az iki ayrı malzemeden, belli olan bir özelliği elde edebilmek için, bu malzemelerin belli şartlar altında ve belli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesiyle kompozit malzeme elde edilmektedir. Kompozit malzeme teşkili ile mukavemet, rijidlik, korozyon direnci, aşınma direnci, görünüm güzelliği, ağırlık, yorulma ömrü, ısı izolasyonu, ısıya dayanıklılık, akustik izolasyon, imalat kolaylığı gibi özellikler düzeltilebilmektedir. (Süleyiman, 2012).

Bu çalışmada kullandığımız cam elyaf takviyeli sentetik reçine (SMC) devamlı veya kesikli olarak mikserlerde karıştırılmaktadır. Elde edilen bileşim kıvamlı sıvı veya bir macundur. Bu macun halindeki malzeme, üzerine kırılan belirli miktardaki cam elyafı ile birlikte üstten ve alttan gelen, genellikle naylon ve polietilen plastik malzemeden yapılmış taşıyıcı filmler tarafından kapatılarak sandviç yapıda bir bileşim haline getirilmektedir. Sandviç yapıdaki bu görünüm konveyör band üzerinde ilerleyerek sıkıştırma ruloları arasından geçirilip pestil haline getirilmektedir. Daha sonra pestil halindeki hazır kalıplama bileşimi uygun uzunluklarda rulo haline getirilip, reçinenin uçuculuğunu önlemek üzere naylon ambalajda paketlenerek, sıcaklık kontrollü bir ortamda depolanmaktadır. Malzeme daha sonra, uygun kalıplama vizkositesine ulaşılan kadar olgunlaştırılmaktadır (Cam Elyaf Sanayi A.Ş.)



Şekil 1.20. SMC hazır kalıplama bileşimi üretimi (Cam Elyaf Sanayi A.Ş.)

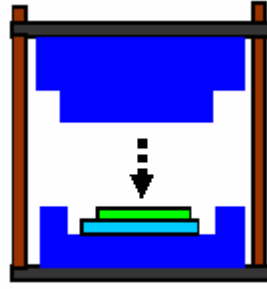


Şekil 1.21. SMC hazır kalıplama bileşimi

Çizelge1.4. Pigmentli SMC formülasyonu (Cam Elyaf Sanayi A.Ş.)

Cam elyafı (SMC 3)	28%
SMC macunu	72%
<b>Toplam</b>	<b>100%</b>
<b>Macun:</b>	
Reçine	35%
Kalsiyum karbonat (Dolgu)	59,5%
Çinko streat	1,5%
TBPB	0,5%
Pigment	2,5%
Kalınlaştırıcı	1,0%
<b>Toplam</b>	<b>100%</b>

SMC hazır kalıplama bileşimi basınçlı preslere monte edilen ısıtılmış metal kalıplar içinde kalıplanmaktadır. Kalıp sıcaklık aralığı (120–1700)<sup>0</sup>C arasındadır. Kalıp basıncı ise (140–170) bar arasında değişir. Kalıplama süresi normal koşullarda parçanın kalınlığı, kalıp sıcaklığı ve kullanılan katalizör miktarına bağlı olarak (1–4) dakika arasındadır. Yüksek kalitede yüzey özellikleri gerektiren otomobil dış gövde panelleri gibi uygulamalarda genellikle kalıplama süresi boyunca kalıp içinde kaplama uygulanmaktadır. Bu uygulama bütün kalıplama süresini etkileyebilmektedir. Sertleşmeden sonra kalıplanmış parçalar kalıptan çıkartılmaktadır. İkincil işlemler son ürün beklentilerine ve parça kompleksine bağlı olarak tercih edilmektedir. Kalıplanmış parçalar delme, bağlama, vidalama gibi ikincil işlemlerden geçirilmektedir (Cam Elyaf Sanayi A.Ş.).



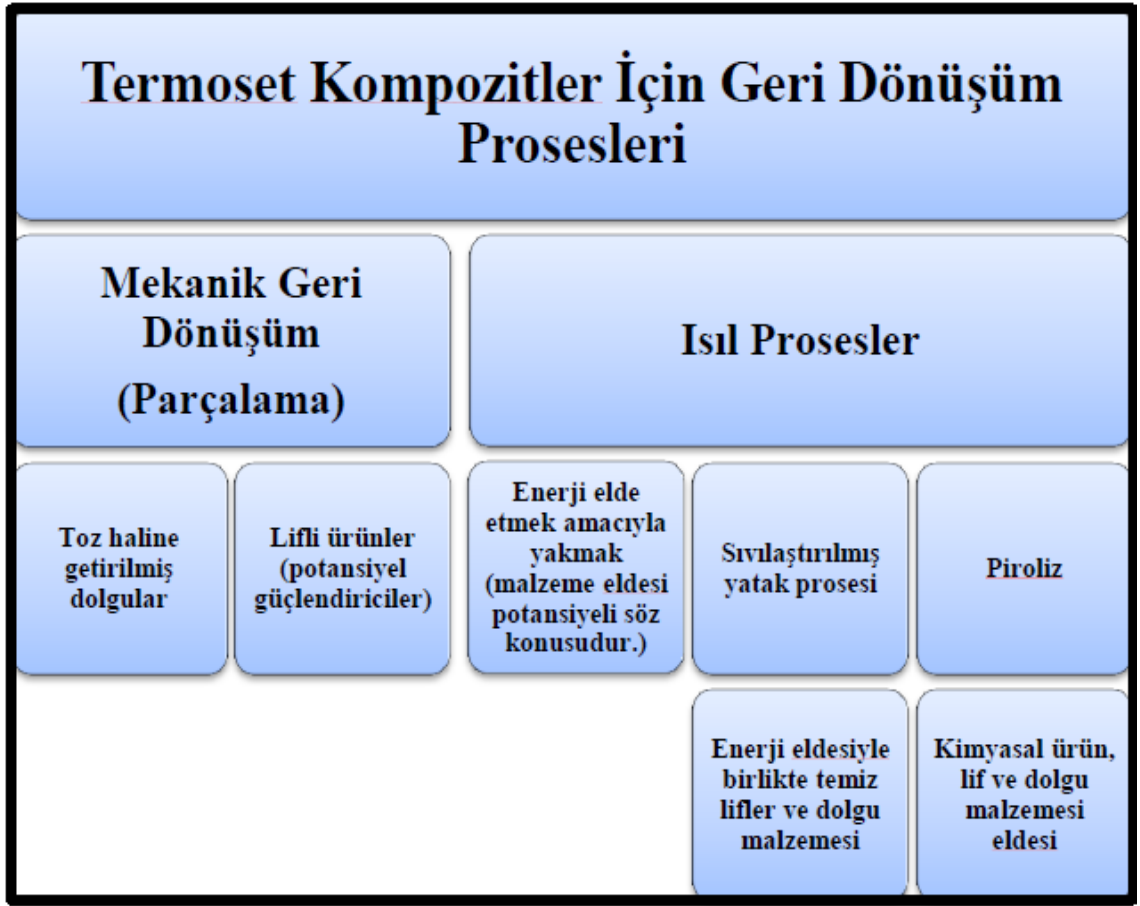
(SMC) Pres Kalıplama

Şekil 1.22. SMC hazır kalıplama yöntemi (Ekşi, 2007)

SMC kalıplama yöntemi öncelikli olarak otomotiv, elektrik/elektronik ve yapı sektörlerindeki yüksek hacimli uygulamalarda kullanılmaktadır. Düşük çekmeli ve hassas profilli reçine sistemlerinin 1960'ların sonlarında pazara tanıtılmasıyla SMC uygulamaları otomobil radyatör panelleri üretiminde ilk örneklerini vermiştir. Bu ön paneller, A sınıfı otomobil gövde panellerinde büyük hacimde hassas profilli SMC'nin ticari kullanımına öncülük etmiştir. Otomobil radyatör panelleri gibi başarılı uygulamalar birçok araba, kamyon gövde panellerinde de SMC kullanımını başlatmış ve SMC uygulamalarının sektörteki kullanımı yaygınlaşmıştır (Cam Elyaf Sanayi A.Ş.).

#### 1.3.4. Plastiğin (SMC) geri dönüşümü

Geri dönüşüm konusundaki belirginleşen sorunlar artan bir önemle gündeme gelmekte ve kompozit malzemelerin gelişmesinin ve hatta bazı pazarlarda kullanımının önünde bir engel olarak ortaya çıkmaktadır. Gün geçtikçe artan yasal zorunluluklar sonucunda uygun bir geri dönüşüm metodolojisi yolunun kurulması ve uygun teknolojilerin tanımlanması gerekliliği araştırmacıların gündemini işgal etmektedir. Kompozit malzemeler için çok sayıda geri dönüşüm teknolojisi önerilmiştir ki bunların bir özeti Şekil 1.23.'de görülmektedir (Aytekin, 2011).



Şekil 1.23. Kompozit malzemeler için geri dönüşüm prosesleri (Aytekin, 2011)

Mekanik geri dönüşüm:

Mekanik geri dönüşüm sürecinde, özgün kompozitin tüm içeriğinin boyutu küçülür ve bunlar dönüşüm hammaddesinde polimer, elyaf ve dolgu maddelerinin birer karışımı olmaktadır. Tipik olarak en ince boyuttaki parçalar toz halindedir ve özgün kompozitten daha yüksek oranda polimer ve dolgu malzemesi içermektedirler. Daha kaba parçalar lifli yapı arz eder ve özgün malzemeye göre daha yüksek oranda lif içermektedirler. Endüstriyel boyutta geri dönüşüm etkinliği gösteren şirket olan ERCOM ve Kanada’ da Phoenix Fiberglass operasyonlarını en yaygın kullanılan BMC ve SMC gibi iki tip termoset cam elyafli kompozit malzeme temelinde yürütmektedir. Bu kompozitler genellikle polyester reçine temelli olmakta ve yüksek oranda dolgu malzemesi içermektedir. Bu dolgu malzemeleri genellikle kalsiyum karbonat ya da yanma geciktirici alümina trihidrattır. Elde edilen ince toz formunda olan yeni SMC ve BMC’ ler kalsiyum karbonatın yerini alacak dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Dönüştürülmüş hammadde içeren bir SMC, sadece kalsiyum karbonat dolgu malzemesiyle oluşturulmuş olandan %5 daha hafif olmaktadır. Dönüştürülmüş hammaddenin daha çok reçine absorbe etmesinden dolayı kalıplama bileşeninin viskozitesinde meydana gelen artış daha fazla kullanımda probleme yol açmaktadır (Aytekin, 2011).

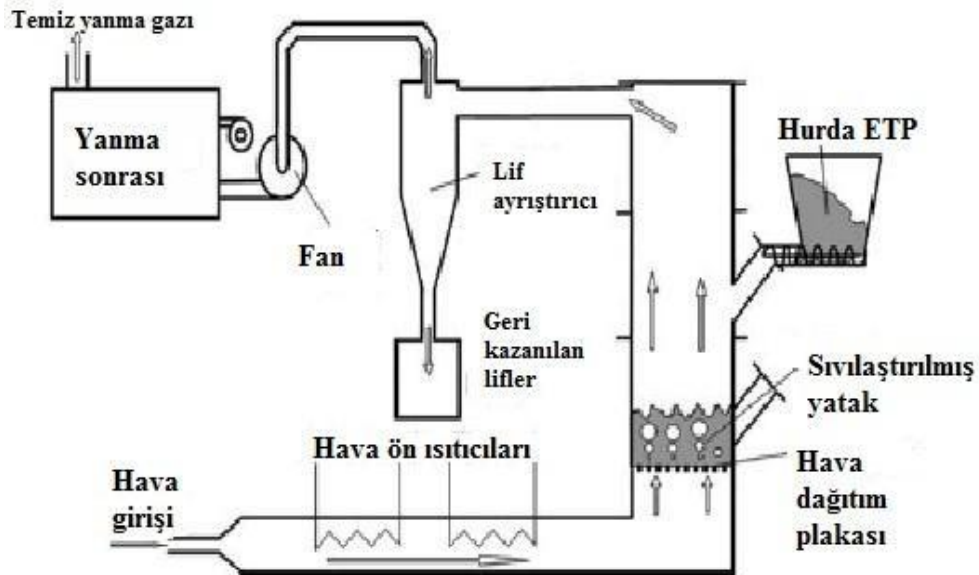
### Termal işleme

#### *Enerji ve malzeme edinme amacıyla yakma*

Termoset polimerler organik malzemeler gibi kalorifik değeri olduğundan enerji kaynağı elde etmek amacıyla yakılmaktadırlar. Hurda kompozitlerin çimento ocaklarında yakılması ile kompozitlerin içinde bulunan mineraller ve cam güçlendiriciler çimento üretim prosesini etkilemektedirler. Bu yaklaşıma alternatif olarak hurda kompozitlerin özel bir fırın sisteminde kömür ile birlikte yakılması sülfür emisyonunun azalmasını sağlayacaktır (Aytekin, 2011).

#### *Sıvılaştırılmış yatakla ısı işlemler kullanılarak lif eldesi*

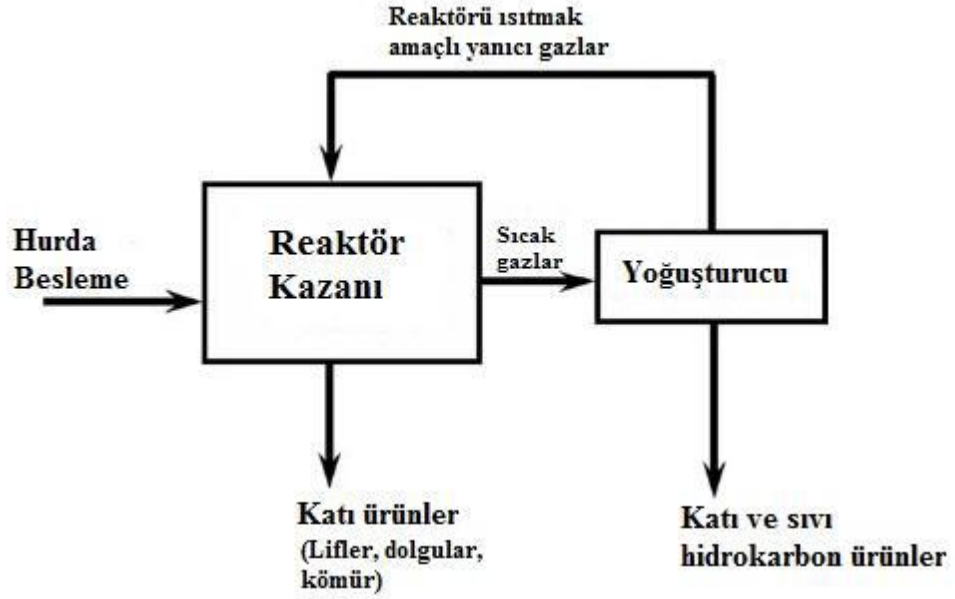
Nottingham Üniversitesi'nde uzun araştırmalardan sonra hurda haldeki cam ve karbon liflerle güçlendirilmiş kompozitlerden yüksek nitelikli cam ve karbon lifi güçlendiricileri elde etmek üzere sıvılaştırılmış yataklı bir süreç geliştirilmiştir. Sıvılaştırılmış yatak prosesinin en belirgin avantajı karışık ve kontamine olmuş malzemeleri çok iyi tolare etmesidir (Aytekin, 2011).



Şekil 1.24. Sıvılaştırılmış yatak geri dönüşüm işlemi (Aytekin, 2011)

### *Cam lifli kompozitlerin piroliz süreci*

Bir piroliz sürecinde, yanıcı bir malzeme oksijensiz ortamda ısıtılmaktadır. Bu koşullarda malzeme, en düşük molekül ağırlık içeriklerine (sıvı ve gaz) ayrılmakta ve ayrıca ortaya bir katı karbon kömür ürünü çıkmaktadır. Tipik bir piroliz sürecinin diyagramı Şekil 1.25.'de sunulmaktadır. Bu diyagramda, ortaya çıkan gazların proses için ısı sağlamak amacıyla yakıt olarak kullanıldığı görülmektedir.



**Şekil 1.25.** Proliz süreci

Bu çalışmada uygulanan otomotiv tamponun geri dönüşümü Şekil 1.26.'da gösterilmiştir. Birinci aşamada tampondan bazı parçalar söküldükten sonra kırıcı makineye gönderilen tampon küçük parçalara ayrılır. İkinci aşamada ise kırıcı makinasından çıkan tampon parçalarının arasındaki artık maddeler uzaklaştırılır ve parçalar yıkanır. Dördüncü aşamada boyalı olan parçalar ve boyalı olmayan parçalar olarak sınıflama yapılır. Beşinci ve son aşamada ise bu sınıflanan parçalar kullanılmak üzere paketlenir.





**Şekil 1.26.** Tamponun geri dönüşümü

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ermolaeva ve arkadaşları (2004), Teknolojik, ekonomik ve ekolojik perspektifinde otomobillerde uygun ürün geliştirmede konsept arabanın alt yapısı içinde zemin panelleri olarak kullanılması için alüminyum alaşım yüzey ile köpüklerin optimal seçimini göstermişlerdir. Kabul edilen yapının tüm yaşam döngüsü sırasında aday materyalin çevresel etkisi, köpüklerin seçimi için minimize edilmiş kütle ve malzemelerin fiyat analizini LCA yöntemi ile değerlendirmişlerdir.

Tharumarajah ve Koltun (2006), Magnezyum motor bloğunun yaşam döngüsü değerlendirmesini kullanarak yeni sıkıştırılmış grafit demir, konvansiyonel dökme demir ve alüminyumdan yapılmış işlevsel olarak eşdeğer blokları karşılaştırmışlardır. Otomotiv parçalarının hafif ağırlığı için tercih edilen magnezyumun diğer rakip malzemelerden daha çevresel avantaja sahip olduğunu bulmuşlardır.

Alves ve arkadaşları (2009), LCA yöntemi ile beton arabalarının ön kaputunu üretmek için cam elyaf yerine doğal elyaf kullanımına ilişkin çevresel iyileştirmeleri araştırarak, doğal elyaf kompozit malzemesinin daha avantajlı olduğunu bulmuşlardır.

Tharumarajah ve Koltun (2010), LCA yaklaşımını kullanarak plastiklere alternatif olarak biyo—plastikler ve konvansiyonel gösterge panellerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını karşılaştırmışlardır. Çelik, plastik ve biyo—plastikten yapılmış konvansiyonel gösterge panelleri sırasıyla %15, %29 ve %37 magnezyumdan daha düşük olduğu bulunmuştur.

Rajendran ve arkadaşları (2011), LCA yaklaşımını kullanarak cam elyaf ve keten elyaf dolgulu geri dönüşümlü plastik için kaynak tüketme potansiyeli ve küresel ısınma potansiyelini değerlendirmişlerdir. Sivil ve altyapı uygulamalarında geri dönüşümlü plastik takviye kullanımının kaynak tüketimi ve küresel ısınmayı önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir.

Witik ve arkadaşları (2011), Otomotiv uygulamalarında kompozitlerin potansiyel avantajlarını değerlendirmek için LCA ve üretim odaklı yaşam döngüsü maliyetlendirmeyi kullanmışlardır. Örnek bileşenler için çelik ve magnezyuma karşı birkaç uygun hafif polimer kompozitlerin yaşam döngüsü maliyetleri ve çevresel performansını nicelleştirmişler ve karşılaştırmışlardır. Hazır kalıplama bileşikleri gibi hafif ağırlıktaki malzemeler geri dönüşümlü olmamasına rağmen bir yaşam döngüsü bakış açısıyla daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır.

Ölmez (2011) tarafından yapılan çalışmada SimaPro yazılımı ve IMPACT 2002+ değerlendirme metodu kullanılarak Türkiye'de demir ve çelik üretimi için bir Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, sıvı çeliğin toplam çevresel etkiler açısından en büyük etkiye sahip olduğu ve bunu sinterin takip ettiği bulunmuştur. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimine en büyük etkiyi kok üretim prosesinin gösterdiği tespit edilmiştir. Farklı nihai ürünlerin etkilerinin karşılaştırılması sonucu sıcak haddelenmiş bobinin en fazla çevresel etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Erkayaoğlu (2011) tarafından yapılan çalışmada kömür taşımacılığında kullanılan ağır yük kamyonu ve bantlı konveyörün çevresel etkilerini belirlemek amacıyla SimaPro 7.3 yazılımı kullanılarak karşılaştırmalı YDD' si yapılmıştır. Asidifikasyon kategorisi açısından ağır yük kamyonlarının bantlı konveyörlere göre 1,9 kat daha fazla etkiye sahip olduklarını ve öte yandan iklim değişikliği kategorisi açısından bantlı konveyörlerin 1,6 kat daha fazla etkiye neden olduklarını ortaya koymuştur. Ayrıca dizel yakıt tüketen kamyonların ve elektrik ile çalışan bantlı konveyörlerin kullanım aşamalarının seçilen tüm etki kategorilerinde en yüksek etkiyi gösterdiği bulunmuştur.

Simoos ve arkadaşları (2012) bu çalışmada çelik, alüminyum, doğal ve cam elyaf takviyeli polimer kompozit gibi alternatif malzemelerden yapılmış üç aydınlatma direklerinden en kullanışlı ve çevresel olanı belirlemek için yaşam döngüsü değerlendirmesini yapmışlardır. Uzun ömür ve bakıma gerek duymadığından doğal elyaf takviyeli olan kompozit aydınlatma direğini çevresel açıdan avantajlı olduğunu saptamışlardır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

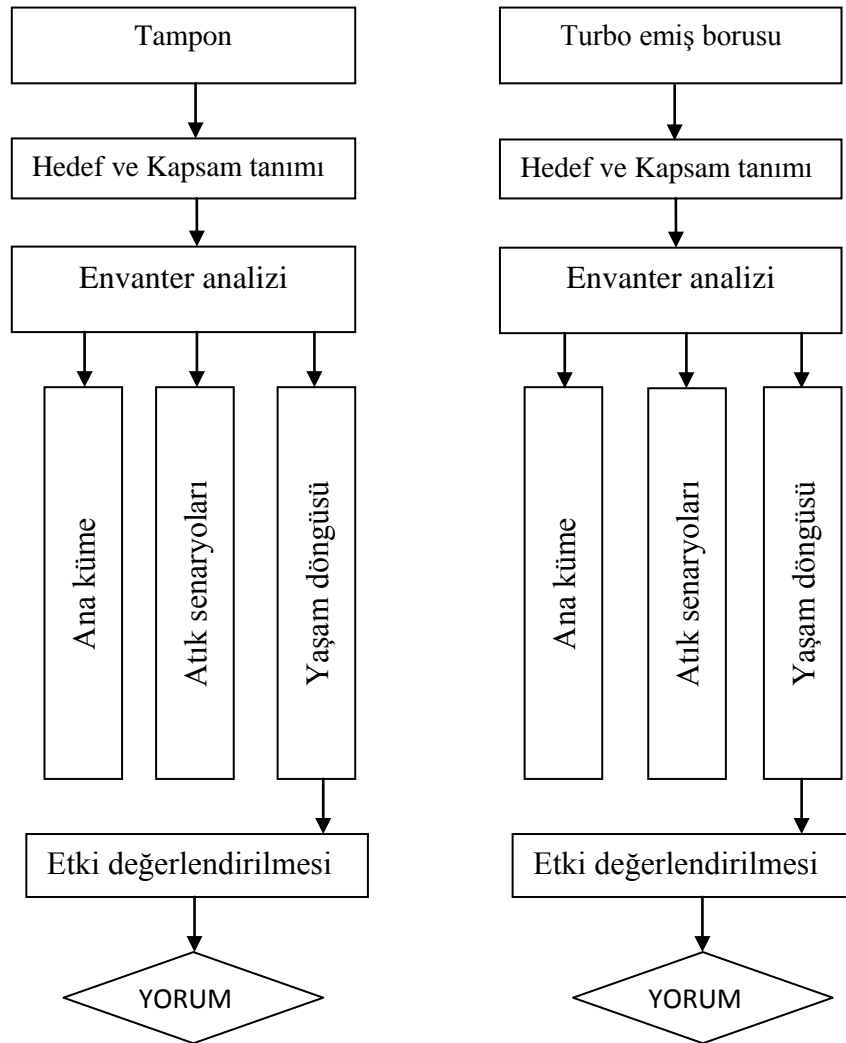
#### 3.1. Malzeme

#### 3.3. Otomotiv tamponu ve turbo emiş borusunun LCA uygulaması

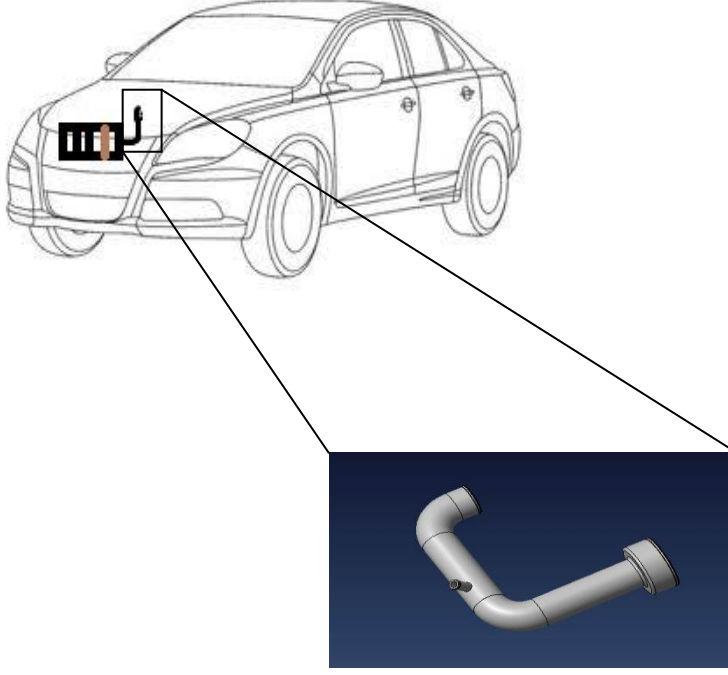
##### 3.3.1. Hedef ve kapsam tarifi

##### 3.3.1.1. Hedef

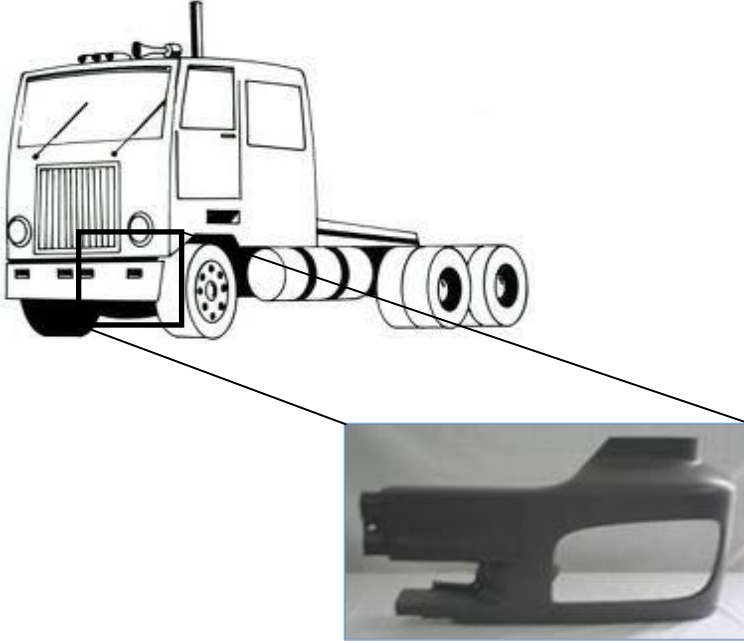
Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan turbo emiş borusu ve tampon gibi otomotiv aksam parçaları ele alınmıştır (Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.). Firmalarla iletişime geçilerek nakliye, üretim bilgileri ve kullanılan enerjiler elde edilmiştir. Elde edilen veriler SimaPro 7.3.2 yazılımının kendi veri tabanındaki verilerle birlikte değerlendirilmiştir. Her iki otomotiv parçaları için yaşam döngüsü proses ağacı oluşturulmuş, şekil 3.1. de etki analizleri yapılarak iki farklı otomotiv parçalarının ayrı ayrı LCA'sı yapılmıştır. Ek olarak bu tez çalışmasında, temelleri atılacak olan ve dünya genelinde karar destek sistemi olarak kullanılan LCA'nın ülkemizdeki otomotiv endüstrisinde tanıtılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.1. Tampon ve turbo emiş borusunun LCA akım şeması



Şekil 3.2. 2,3 kg'lık turbo emiş borusu

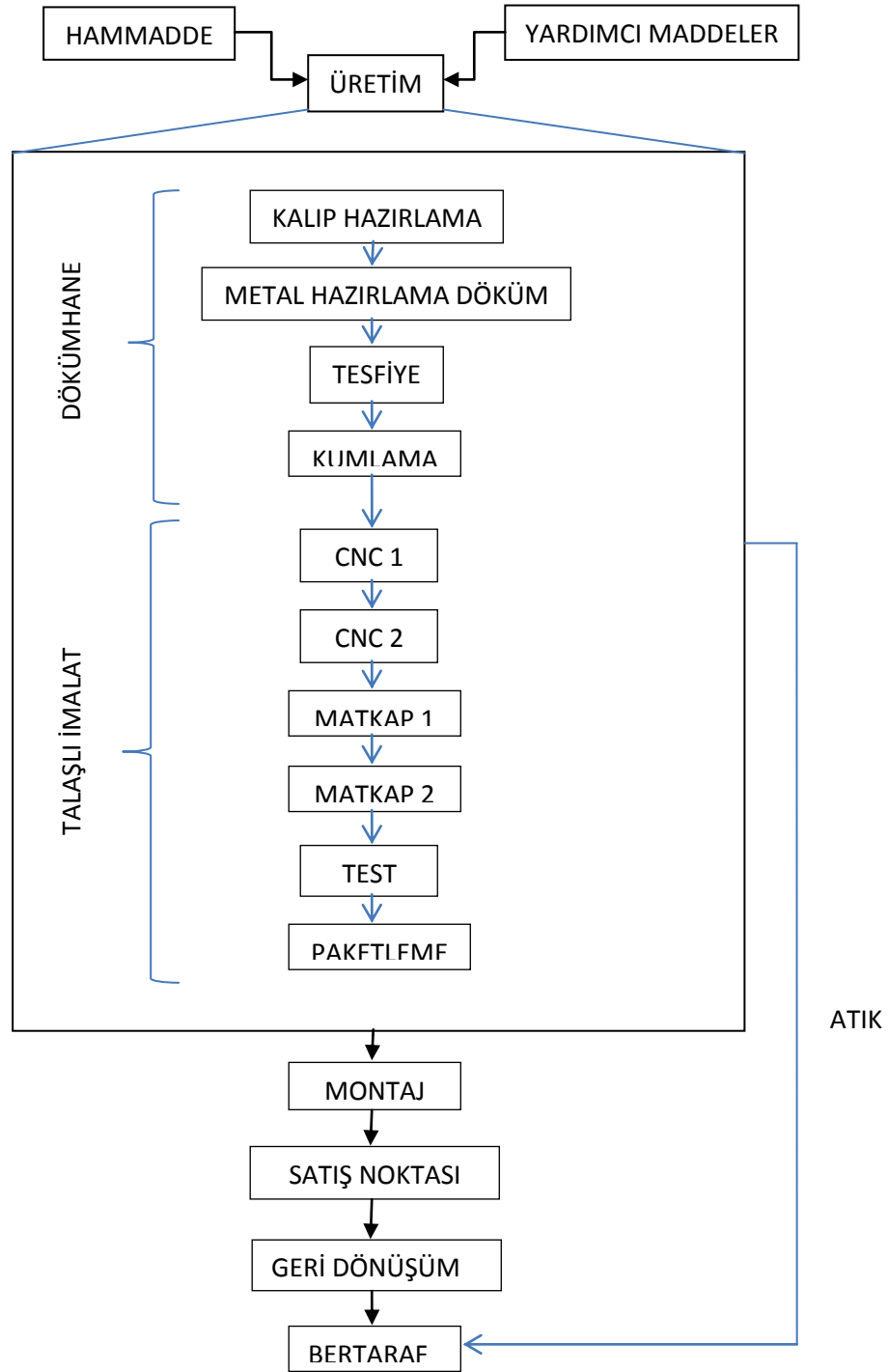


Şekil 3.3. 6 kg'lık otomotiv tamponu

### 3.3.1.2. Kapsam

*Fonksiyonel birim:* Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak 1 kg'lık turbo emiş borusu ve otomotiv tamponu seçilmiştir.

**Sistem sınırları:** Sistem sınırları kapsamında oluşturulan otomotiv endüstrisinde kullanılan turbo emiş borusu ve otomotiv tamponunun yaşam döngüleri Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.'de verilmiştir.



**Şekil.3.4.** Turbo Emiş borusunun LCA akım şeması

*Kalıp hazırlama:* Kalıp imalatına başlamadan önce, alüminyum ürün, kalıp ve alüminyum enjeksiyon prosesinin simülasyonu gerçekleştirilmektedir ve bunlar optimize edilmektedir. Tasarım aşamasında çeşitli bilgisayar çizim yazılım programları ile kalıplar tasarlanmaktadır. Tasarlanmış olan kalıbın imalatı için kalıp elementlerinin Mastercam programında işlemlerini yaparak gerekli kodları çıkarılmaktadır ve bunlar sayesinde CNC makinaları parçayı işlemektedir.

*Metal hazırlama ve döküm:* Alüminyum metali 1200 kg kapasiteli ergitme ocağında ve 680–750 °C sıcaklıkta ısı ile ergitilmektedir. Ergitme işleminde kullanılan alüminyum külçenin içeriği dökülecek malzemenin istenilen özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Fazla hidrojeni izin verilen seviyelere düşürmek için döner gaz alma prosesi uygulanmaktadır.

Erimiş metal daha önce oluşturulmuş kum (doğal veya sentetik) kalıp boşluğuna dökülmektedir. Kum boşluğu, parçanın yaklaşık kopyası olan genellikle ahşap bazen **metal kalıp** ile yapılmaktadır.

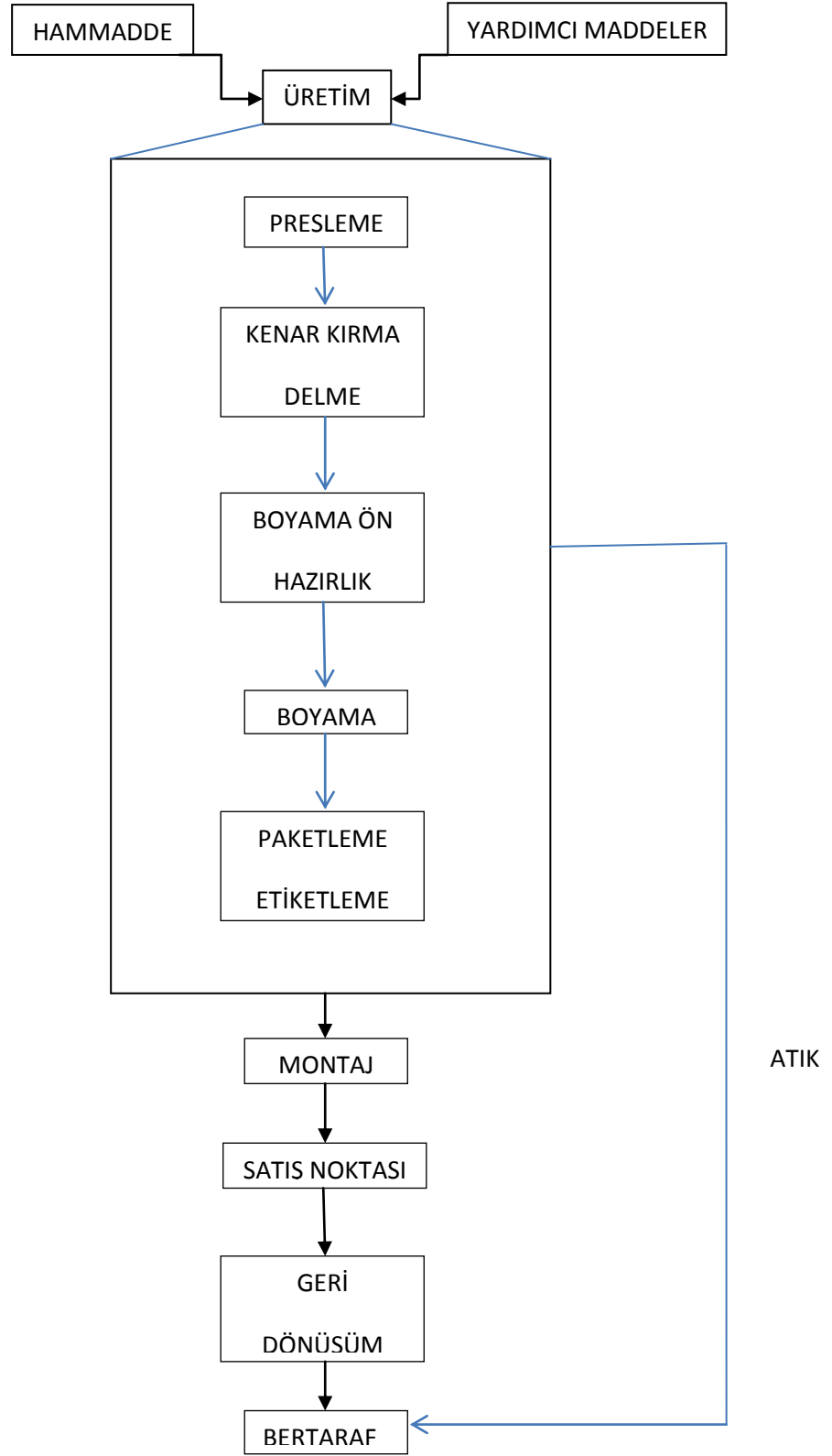
*Tesfiye:* Alüminyum döküm parçalarının döküm sonrası yolluk ve besleyicisi kesildikten sonra kesilen alanların düzeltilmesi ve ayrıca çapakların giderilmesi için zımpara ve ince zımpara makinelerinden geçtikten sonra kumlamaya hazır hale getirilmektedir.

*Kumlama:* Kumlama işlemi, uygun aşındırıcıları yüksek basınçta püskürterek malzemelerin üzerinde biriken, kir, pas, yağ ve boya gibi artıkların yüzeyden arındırılması amacıyla yapılan bir işlemdir. Kumlama işlemi parça yüzeyindeki gözle görülmeyen mikro boyuttaki çatlakları paslanmaz çelik bilya sayesinde kumlama yaparak kapatmayı ayrıca varsa parça yüzeyinde görülmeyen büyük çatlak ve döküm boşluklarını ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır. Ayrıca alüminyum döküm parçanın yüzey temizliğini yapıp görünümünü düzgün hale getirmektedir.

Kumlama süresi parçanın boyutu ve yüzeysel yapısına göre farklılık göstermektedir. Ortalama kumlama süresi 3 ila 5 dakika arasında değişmektedir. Boru tipi orta boy parçaların kumlaması için basınçlı kumlama kabinleri kullanılmaktadır.

*Talaşlı imalat:* Dökümü yapılmış olan malzemelerin teknik resimlerine uygun bir şekilde işleme olan kısımlarının işlemesi, mevcut CNC tezgahlar ile en hassas şekilde yapılmaktadır. Bilgisayarlı nümerik kontrolde tezgah kontrol ünitesinin sayısallaştırmanın yapılması sonucu programların muhafaza edilebilmelerinin yanında parça üretiminin her aşamasında programı durdurma, programda gerekli olabilecek değişiklikleri yapabilme, programa kalınan yerden tekrar devam edebilme ve programı son şekliyle hafızada saklamak mümkündür. Bu nedenle programın kontrol ünitesine birkez yüklenmesi yeterlidir. Programların tezgaha transferleri delikli kağıt şeritler

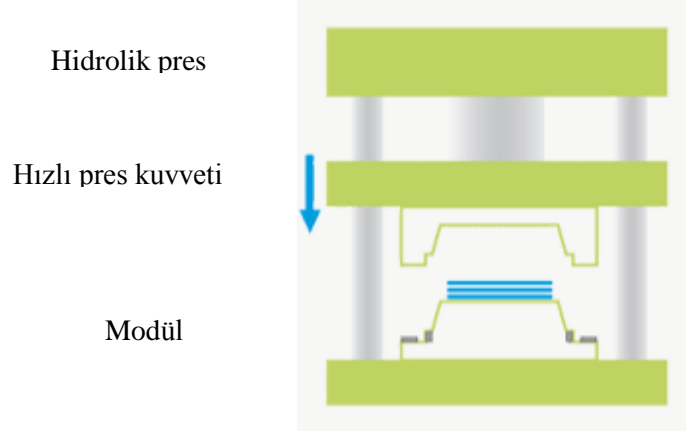
(Punched Tapes), Manyetik Bantlar (Magnetic Tapes) vb. veri taşıyıcılar aracılığıyla gerçekleştirilir.



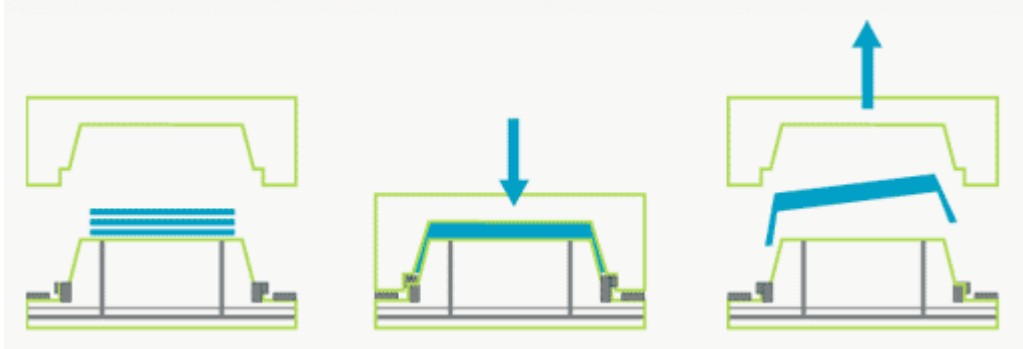
Şekil 3.5. Otomotiv tamponunun yaşam döngüsü akım şeması



*Presleme:* Cam elyaf katkılı sentetik reçine ve kurşunlu prinç (CuZn40Pb3) 150–170°C sıcaklıkta, 50–120 kgf/cm<sup>2</sup> basınç altında metal kalıplarda şekillendirilmesi metodudur. Kalıplama süresi 3–6 dakika sürmektedir. 8 mm/s sabit hızda pres yapılmaktadır.



**Şekil 3.6.** Basınç kalıplama



**Şekil 3.7.** Basınç kalıplama döngüsü

*Kenar kırma ve delme:* Presten çıkan malzemenin kenarlarının, pres şeklin dışında kalan malzemelerin kenar kısımları düzeltilerek gerekli olan delme işlemi yapılır.

*Boya ön hazırlık:* Boyama işlemine geçmeden önce zımpara ve macun işleri yapılır.

*Boyama:* Astarlı ve Pütürlü boyama işlemi yapılır ve gerekli kontrol işlemi yapılır.

*Paketleme:* Boyama kontrol işleminden geçen ürün paketleme bölümünde ürünün paketleme ve etiket işlemi yapılarak sevke hazır parça stok alanına paketlenmiş ürün gönderilir.

### 3.3.2. Envanter analizi

#### 3.3.2.1. Veri toplama

Birim ürün için kullanılan hammadde ve enerji verileri üretici firmalardan alınmıştır.

#### 1 kg'lık turbo emiş borusuna ait veriler

Turbo emiş borusu üretiminde kullanılan malzemeler ve miktarları ve ayrıca malzemelerin hesaplanan taşıma verileri Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** 1 kg'lık turbo emiş borusu için kullanılan malzemelerin miktarı ve taşıma verileri

Malzemeler	Miktar (kg)	Taşıma (kgkm)
AlSi10Mg (kg)	1	189
<b>Yardımcı malzemeler</b>		
Titanyum (kg)	0,00170	0,20
Degazer tablet	0,00042	0,063
Azot gazı	0,000369	0,0064
Flux	0,00042	0,050
Stronsiyum	0,00250	0,298

Turbo emiş borusunun hammadde nakliyesi 21 ton kapasiteli kamyonla Bursa'dan 189 km mesafedeki Gebze'ye nakliyesi gerçekleştirilmiştir. 1 kg kum kalıba döküm için 4,5 kg kum kullanılmıştır.

Kalıp hazırlama, metal hazırlama—döküm, tefsiye, kumlama proseslerini kapsayan dökümhane aşamasında ve talaşlı imalat aşamasında tüketilen enerji, oluşan atık türleri ve miktarları Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** 1 kg'lık turbo emiş borusu üretiminde uygulanan prosesler

	Dökümhane	Talaşlı imalat
<b>Harcanan elektrik (kWh)</b>	3,7	1
<b>Oluşan atık türleri</b>		
Kum atığı (kg)	0,08	—
Curüf (kg)	0,06	—
Bor yağı (kg)	0,15	—

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın döküm sektörü rehber dökümanından aldığımız bilgiye göre dökümhanede oluşan atıkların bertaraf yöntemleri;

Ocak curüfu atığının bertarafı

*Tesis içersinde geçici depolama;* Ocak curüfları, tesis içersinde konteynerlerde veya kapalı depolama alanlarında dökme olarak depolanır.

*Geri kazanım;* Şirket içinde metalin mıknatıs veya ayırıcı yardımıyla geri kazanımı ve işletme dışı şirketlerde yol yapımı, beton katkı malzemesi, kumlama malzemesi olarak geri kazanım olmak üzere iki şekilde değerlendirilebilir.

*Bertaraf;* Düzenli depolama

Kum atığının bertarafı

*Tesis içersinde geçici depolama;* Kum atığı, tesis içersinde değişik muhfaza ve nakliye konteynırları, tekneler, Big Bag, Silo vb. gibi araçlarla geçici depolanır

*Geri kazanım;* Şirket içinde, kum kalıbı kumları, eski kumlarla birlikte mekanik (kuru/ıslak) ve/veya termik kum yenileme işlemi ile % 85—95 oranında rejenere edilebilir. Başka firmalarda, rejenerasyon yöntemi şirket ile aynı ve ayrıca çimento ocaklarında, yapı malzemesi olarak, yol yapımında değerlendirilebilir.

*Bertaraf;* Evsel, endüstriyel ve yeraltı depolama alanları,

Şirvanlı Alüminyum Döküm ve Metal İşleme San. A.Ş.'den aldığımız bilgiye göre turbo emiş borusunun geri dönüşüm oranı % 92 olarak ele alınmıştır. Turbo emiş borusunun atık senaryosu % 92 geri dönüşüm, % 2 yakma, % 6 düzenli depolama olarak yapılmıştır.

### 1 kg'lık otomotiv tamponuna ait veriler

Otomotiv tamponu üretiminde kullanılan malzemeler ve miktarları ve ayrıca malzemelerin hesaplanan taşıma verileri Çizelge 3.3.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3.** 1 kg'lık otomotiv tamponu için kullanılan malzemelerin miktarı ve taşıma verileri

Malzemeler	Miktar (kg)	Taşıma (kgkm)
<b>Hammadde</b> Cam elyaf katkılı sentetik reçine	5	14970
<b>Yardımcı malzeme</b> Kurşunlu pirinç (CuZn40Pb3)	0,12	81
<b>Boyalar</b> DC (PPG)	0,299	207
MBT (PPG)	0,299	202
MBT (DuPoint)	0,402	271
DB 7354	0,366	247
<b>Paketleme malzemesi</b> Havalı naylon	0,97	511

20<sup>0</sup>C'de sabit frigolu, 21 ton kapasiteli tırla aylık ortalama 180 ton hammadde nakliyesi Almanya'dan 2994 km mesafedeki Aksaray'a yapılmaktadır. 4500 tane yardımcı malzeme haftada bir palet taşıyan tırla İstanbul'dan 674 km mesafedeki Aksaray'a nakliyesi yapılmaktadır. Aylık 2,5 ton boya 692 km mesafedeki İzmir'den ve aylık 7,5 tonu 674 km mesafedeki İstanbul'dan Aksaray'a nakliyesi yapılmaktadır. Aylık 7 ton havalı naylon Sakarya'dan 526 km mesafedeki Aksaray'a nakliyesi gerçekleştirilmektedir. 1kg'lık otomotiv tamponun üretilmesinde tüketilen elektrik, doğalgaz ve su Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** 1 kg'lık otomotiv tamponu için tüketilen enerji miktarları

Prosesler	Elektirik (kWh)	Su (m <sup>3</sup> )	Doğalgaz (m <sup>3</sup> )
Presleme	8,24	0,05	3,36
Parça hazırlama	5,49	0,05	0,84
Boya ön hazırlık	2,75	0,05	0,84
Boyahane	8,24	0,05	2,52
Son kontrol	2,75	0,05	0,84

1 kg'lık otomotiv tamponunun üretiminde kullanılan proseslerde oluşan atık miktarları Çizelge 3.5.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5.** 1 kg'lık otomotiv tamponun üretim prosesleri sonucu oluşan atıklar

Prosesler	Evsel atık (kg)	Boya çamuru (kg)	Kontamine atık (kg)
Presleme	2,7	—	0,007
Parça hazırlama	—	—	0,007
Boya ön hazırlık	—	—	0,007
Boyahane	—	0,938	0,007
Son kontrol	—	—	0,007

Polytec Plastik firmasından elde ettiğimiz bilgiye göre boya çamuru ve kontamine atık ilave yakıt olarak kullanılması için 13500 kg kapasiteli kamyonla 265 km mesafedeki Adana Çimento Fabrikasına gönderilmektedir. Evsel atık ise belediye atık arabaları ile toplanarak düzenli depolama alanına gönderilmektedir.

*Sevkiyat;* Aksarayda Polytec Plastikte üretilen otomotiv tamponu günde 3 defa 16 ton kapasiteli kamyonla 20 km mesafedeki Aksaray Mercedes Benz'e nakliyesi gerçekleştirilmektedir.

### 3.3.2.2. Varsayımlar

Turbo emiş borusu üretildikten sonra montaj için Bursa'da bulunan otomotiv sanayisine, arabaya montajı yapıldıktan sonra tüketiciye ulaşması için İzmir'de bulunan satış noktasına gönderilmektedir. Aracın ömrünü tamamladıktan sonra hurda otomobil olarak Ankara (Kazan)'da bulunan geçici depolama alanı—arındırma—söküm tesisi olan Ekosistem Geri Dönüşüm'e ulaşmaktadır. Demontajı yapıp değerlendirilemeyecek olan parçaların bir kısmı geri dönüşüm için İstanbul'da bulunan Ertaş Alüminyum Geri Dönüşümüne, yeniden kullanma için Ankara (Altındağ)'da ki Özdemir Otomarket Yedek Parça'ya, yakmak için İstaç'a, geri kalan kısmı düzenli depolamaya gönderilmektedir.

Turbo emiş borusunun otomobile montajı sırasında 0,5 kWh elektrik tüketildiği varsayılmıştır Yardımcı malzemeler 21 ton kapasiteli kamyonla Yalova'dan Gebze'ye ve gaz alma kimyasalı olan degazer tabletin ise İstanbul'dan Gebze'ye nakliye edildiği kabul edilmiştir.

Gebze—Bursa: 192 km

Bursa—İzmir: 322 km

İzmir—Ankara: 579 km

Ankara—İstanbul: 429 km

Kazan—Altındağ: 50 km

Yalova—Gebze: 119 km

İstanbul—Gebze: 150 km

Aksaray Mercedes Benz kamyon fabrikasında montajı yapıldıktan sonra Ankara (Yenimahalle)'de bulunan satış noktasına ulaştığı varsayılmıştır. Ömrünü tamamlayan hurda kamyon Ankara (Kazan)'daki Ekosistem Geri Dönüşüm tesisine gönderildiği varsayılmıştır. Kamyonun sökümü yapıldıktan sonra İstanbul (Pendik)'de bulunan Hür Plastik Geri Dönüşüm firmasına, yeniden kullanım için İstanbul (Fatih)'de ki Karakaşlar Otomotiv yedek parçaya, yakma ve düzenli depolama için İstaç'a gönderildiği varsayılmıştır.

Tamponun montajında tüketilen elektrik 2 kWh olarak kabul edilmiştir.

Aksaray—Ankara/Yenimahalle: 241 km

Kazan—Yenimahalle: 32 km

Ankara—İstanbul: 429 km

Yenimahalle—Pendik: 395 km

### 3.3.2.3. Atık senaryoları

Tampona için oluşturulan farklı atık senaryoları Çizelge 3.6.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Tamponun atık senaryoları

	Yeniden Kullanım (%)	Geri Dönüşüm (%)	Yakma (%)	Düzenli depolama (%)
Atık senaryosu-1	10	30	50	10
Atık senaryosu-2	70	—	20	10
Atık senaryosu-3	—	—	5	95
Atık senaryosu-4	5	80	10	5

Turbo emiş borusuna ait farklı atık senaryoları Çizelge 3.7.'da verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Turbo emiş borusunun atık senaryoları

	Yeniden Kullanım	Geri Dönüşüm	Yakma	Düzenli
--	------------------	--------------	-------	---------

	(%)	(%)	(%)	depolama (%)
Atık senaryosu-1	5	90	2	3
Atık senaryosu-2	—	—	—	100
Atık senaryosu-3	80	15	—	5
Atık senaryosu-4	10	15	75	—

### 3.3.2.4. Hesaplama prosedürü

Elde edilen tüm veriler 1 kg'a denk gelen ağırlıkları başına hesaplanarak, taşıma verileri ise taşınan malzemenin ağırlık değeri ve alınan mesafe değerinin çarpılmasıyla bulunan "kgkm" birimi cinsinden hesaplanarak yazılımda kullanılmıştır.

### 3.3.3. Etki analizi

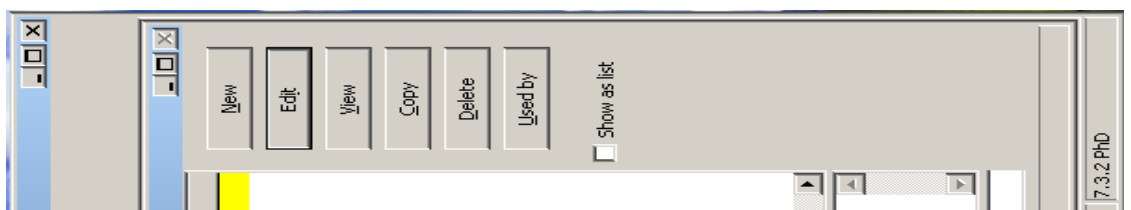
Impact 2002+ yöntemindeki insan toksisitesi, solunum etkileri, iyonlaştırıcı radyasyon, ozon tabakası tüketme, mineral çıkarma, yenilenemeyen enerji, küresel ısınma, toprak işgali, karasal asit/besin birikimi, sudaki azot ve fosfatın artması, sudaki asitleme, karasal ekotoksosite, sudaki ekotoksosite ve fotokimyasal oksidasyon olan karakterizasyon faktörleri ve zarar kategorileri bu çalışmada kullanılmıştır. Ve ayrıca insan sağlığı, ekosistem kalitesi, iklim değişikliği ve kaynaklar olmak üzere son nokta prensibine dayanan etki kategorileri de kullanılmıştır.

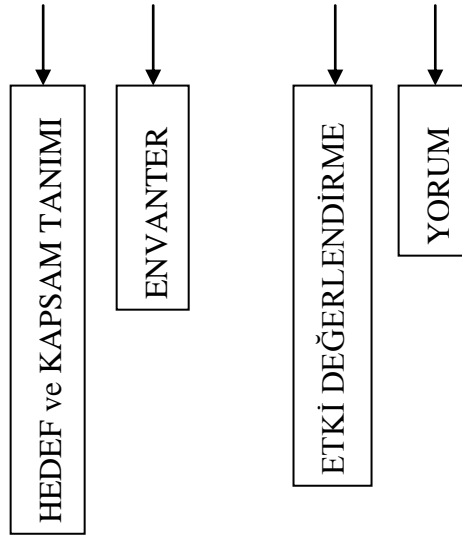
## 3.2. Yöntem

LCA yönteminin uygulandığı LEED, Athena, BEES, BRE, GaBi, Pre modeli gibi birçok yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımlar içerdikleri veri tabanına, etki değerlendirme yöntemlerine, ISO 14040'a uygunluklarına göre çeşitlenmektedirler.

ISO 14040 standardına uygun olması, içerdikleri veri tabanının ve etki değerlendirme yöntemlerinin kalitesi, kullanım kolaylığı gibi nedenlerden dolayı bu tez çalışmasında dünya'da en çok tercih edilen LCA aracı olan PRè Consultants adlı bir Hollanda firmasının ürünü SimaPro 7.3.2. yazılımının kullanılmasına karar verilmiştir.

SimaPro 7.3.2. içerik olarak Şekil 3.8'den de görüleceği gibi; hedef ve kapsam, envanter, etki değerlendirme ve yorumdan oluşmaktadır. Hedef ve kapsam aşamasında ürün, fonksiyonel birim ve çalışmanın amacı gibi verilerin girilmesi gerekmektedir. Envanter aşamasının hedef ve kapsam kısmında belirtilen gereksinimler doğrultusunda, veri tabanlarında bulunan verilerden en uygun olan seçilerek ürün kümesi, yaşam döngüsü ve atık/bertaraf senaryoları oluşturulur.





**Şekil 3.8.** SimaPro 7.3.2 yazılımının yapısı

SimaPro'daki güncel veri tabanları;

- Ecoinvent v1 (etki değerlendirme yöntemi),
- ETH-ESU 96 (enerji; elektrik üretimi ve taşınım, işleme, atıkla ilgili süreçler),



- BUWAL 250 (malzemeleri paketleme–plastik, karton, kağıt, cam, alüminyum, enerji, taşınım, atık),
- Hollandaca Girdi–Çıktı Veritabanı (Dutch Input–Output Database) (ekonomik girdi-çıktı veritabanı),
- ABD Girdi–Çıktı Veritabanı (US Input–Output Database),
- Endüstriyel Veri (Industry Data) (beşikten kapıya endüstriyel bilgi),
- IDEMAT 2001 (mühendislik malzemeleri (metal, plastik, ahşap, alaşım), enerji, taşınım),
- Franklin ABD LCI Veritabanı (Franklin US LCI Database) (enerji, taşınım, çelik, plastik, işleme için Kuzey Amerika envanter bilgisi),
- Veri Arşiv (Data Archive) (malzemeler, enerji, taşınım, işleme, atık),
- Hollandaca Beton Veritabanı (Dutch Concrete Database) (beton üretimi ve kullanımının tüm etkilerine bağlı Alman envanter bilgisi),
- IVAM (malzemeler, taşınım, enerji, atık envanter bilgisi),
- FEFCO (oluklu levha üretiminde BUWAL 250’yi temel alan Avrupa envanter bilgisi)”

gibi güncel veri tabanlarına envanter bilgileri ile ulaşılabilir.

Hedef ve kapsam aşamasında veri tabanı olarak Ecoinvent bilgilerinin seçilmesi uygun görülmüştür. ‘Ecoinvent’ bilgisi; enerji, taşıma, materyaller ve atık yönetimi YDE bilgisini kapsamaktadır. ‘Ecoinvent’ veritabanı Çizelge 3.8.’de görüldüğü gibi kategori ve alt kategorilere ayrılmıştır (Frischknecht vd., 2009).

**Çizelge 3.8.** ‘Ecoinvent’ veri tabanındaki kategori ve alt kategoriler (Frischknecht vd., 2009)

<b>KATEGORİ</b>	<b>ALT KATEGORİ</b>
Hava	Düşük popülasyon yoğunluğu Uzun dönemde düşük popülasyon yoğunluğu Stratosfer altı + troposfer üstü Yüksek popülasyon yoğunluğu
Kaynak	Hava Biyotik Zemin Toprak Su
Toprak	Tarımsal Ormansal Endüstriyel
Su	Zemin Uzun dönemde, zemin Göl Okyanus Nehir

Kategoriler; hava, su, toprak ve kaynak kullanımı gibi farklı çevresel bölümleri tanımlamaktadır. Su, hava ve toprak kategorileri “alıcı bölüm” olarak tanımlanmakta olup doğrudan kirletici emisyonları için kullanılmaktadır. Kategori etki değerlendirme yöntemini, alt kategori ise bir çevresel konuyu açıklamaktadır. Örneğin; “insan sağlığı” kategorisinin alt kategorisinde “kanserojenler” ya da “iklim değişikliği”). Çizelge 3.9.’da Ecoinvent veritabanında yürütülen etki değerlendirme yöntemlerinin kategori ve alt kategorileri gösterilmektedir (Frischknecht vd., 2009).

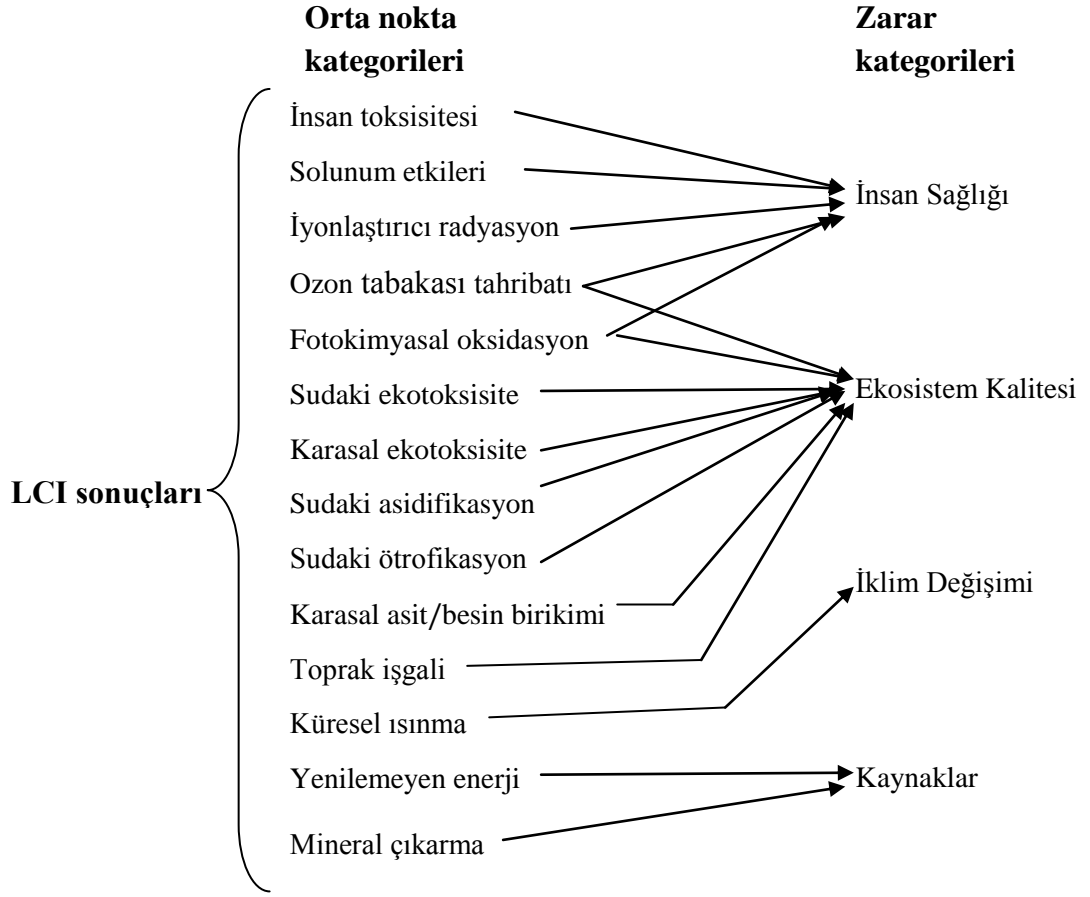
**Çizelge 3.9.** ‘Ecoinvent’ veri tabanındaki etki değerlendirme yöntemleri için kullanılan kategoriler ve alt kategoriler (Frischknecht vd., 2009).

<b>KATEGORİ</b>	<b>ALT KATEGORİ</b>
‘Cumulative Energy Demand’	Fosil, nükleer, su, rüzgar, toprak
‘Eco-indicator 99 (E, E)’	Ekosistem niteliği, insan sağlığı, kaynaklar, toplam
‘Eco-indicator 99 (H, A)’	Ekosistem niteliği, insan sağlığı, kaynaklar, toplam
‘Eco-indicator 99 (I, I)’	Ekosistem niteliği, insan sağlığı, kaynaklar, toplam
‘IMPACT 2002 +’	İklim değişikliği, ekosistem niteliği, insan sağlığı, kaynaklar, toplam
‘IPCC 2001’	İklim değişikliği
‘CML 2001’	Asidifikasyon, iklim değişikliği, ötrifikasyon, insan sağlığı, ozon tabakasının incelenmesi,
‘EDIP’	Çevresel etki, kaynak tüketimi

SimaPro 7.3.2. yazılımının etki değerlendirme aşamasındaki metodlar:

- 1) Eco-indicator 99
- 2) CML 2001
- 3) Ekolojik Kıtılık 2006
- 4) EDIP 2003
- 5) EPD 2008
- 6) EPS 2000
- 7) Impact 2002+
- 8) ReCiPe
- 9) TRACI 2
- 10) BEES
- 11) Kümülatif Enerji İhtiyacı
- 12) Ekolojik Ayak İzi
- 13) Ekosistem Zarar Potansiyeli
- 14) Sera Gazı Protokolü
- 15) IPCC 2007
- 16) USEtox

Bu yöntemlerden orta nokta ve son nokta prensibine dayanan Impact 2002+ metodu tercih edilerek seçilen ürünlerin yaşam döngüsü analizleri yapılmıştır. Ondört orta nokta kategorilerininin birleştirilmesi ile oluşan LCI sonuçları olan dört zarar kategorileri Şekil 3.9.'da gösterilmektedir (Frischknecht vd., 2007).



**Şekil 3.9.** IMPACT 2002+ çatısının kapsamlı planı (Frischknecht vd., 2007)

IMPACT 2002+ etki değerlendirmesinde; karakterizasyon, zarar değerlendirmesi, normalizasyon ve ağırlıklandırma gibi bölümleri içermektedir.

*Karakterizasyon;* Karadaki ekotoksisite, sudaki ekotoksisite ve İnsan toksisitesi gibi karakterizasyon faktörleri IMPACT 2002+ metodolojisinden alınmıştır. Diğer etki kategorileri için karakterizasyon faktörleri Kümülatif Enerji İhtiyacı, IPPC, CML 2001 ve Eco—indicator 99 gibi metodlardan uyarlanmıştır. Kanserojen ve kanserojen olmayan şeklinde kendi içinde ayrılan insan toksitesi dahil olmak üzere SimaPro içinde 15 farklı etki kategorileri vardır (Frischknecht vd., 2007).

*Zarar değerlendirme;* Son nokta kategorilerini içeren zarar değerlendirme etki değerlendirmesinde yeni bir adımdır. Zarar değerlendirme insan sağlığı, ekosistem kalitesi, iklim değişimi ve kaynaklar olmak üzere dört tane etki kategorilerini içermektedir.

*Normalizasyon*; Ecoinvent içinde rapor edilen zarar faktörü yılda kişi başına var olan karakterizasyon faktörleri için belirli bir kategorideki tüm maddelerin toplam etkisi ile emisyonun birim başına etkisi bölünerek normalleştirilir. Hepsi normalleştirilmiş orta nokta/zarar faktörlerinin birimi böylece emisyonun birim başına bir yıl süresince eşdeğer kişilerin sayısına tesir etmektedir [ $\text{kişi} \cdot \text{yıl} / \text{birim}_{\text{emisyon}}$ ]. Dört zarar kategorisi için normalizasyon faktörleri Çizelge 3.10.'da verilmektedir.

**Çizelge 3.10.** Batı Avrupa dört zarar kategorileri ve birimleri (Frischknecht vd., 2007)

Zarar kataogorileri	Normalizasyon Faktörleri	Birim
İnsan Sağlığı	0,0071	DALY/kişi/yıl
Ekosistem Kalitesi	13700	PDF.m <sup>2</sup> .yıl/kişi/yıl
İklim Değişimi	9950	Kg CO <sub>2</sub> /kişi/yıl
Kaynaklar	152000	MJ/kişi/yıl

*Ağırlıklandırma*; IMPACT 2002+'nin yazarları LCA'nın yorumlanma aşaması için; kaynaklar, iklim değişikliği, ekosistem kalitesi ve insan sağlığı gibi dört zarara yönelik etki kategorilerini göz önünde bulundurmaya önermektedir. Ancak diğer sosyal ağırlıklandırma değerleri mevcut olmazsa varsayılan ağırlıklandırma faktörü veya belirlenen ağırlıklandırma faktörleri kullanılabilir. (Frischknecht vd., 2007).

IMPACT 2002+ metodunun son nokta olan zarar kategorileri ve onları oluşturan orta nokta kategorileri aşağıda açıklanmıştır:

**İnsan sağlığı:** İnsan toksisitesi, solunum etkileri, iyonlaştırıcı radyasyon, ozon tabakasının tahribatı ve fotokimyasal oksidasyon olan orta nokta kategorilerinin bütünü "insan sağlığı" zarar kategorisidir. İnsan sağlığı etkisi "Yetersizliğe Ayarlanmış Yaşam Yılları (DALY)" olarak ifade edilir. İnsan sağlığı ortalama hasar 0.0071 DALY/kişi/yıl ve havaya yayılan inorganik maddelerden kaynaklanan solunum etkileri hakimdir (Humbert vd., 2012).

Yöntemde bu etkilerin birimi olan "DALY" Dünya Sağlık Örgütü ve Dünya Bankası tarafından geliştirilmiştir. Hastalığa ve ölüme neden olan sağlık etkilerini tanımlamakta kullanılan bir birimdir. Kanser gibi ölüme neden olan sağlık etkileri kaybedilen yaşam yılları YOLL göstergesi kullanılarak tanımlanmaktadır. Ölümcül bir hastalık nedeniyle kaybedilen yaşam yılı sayısını hesaplamak için WHO tarafından pek çok istatistik kullanılmıştır. Bu istatistikler kanserden veya solunumla ilgili bir sağlık etkisinden kaynaklanan ölümün hangi yaşta ve hangi oranda gerçekleştiğini göstermektedir. Bu istatistiklerde doz ve maruz kalma değeri birleştirilerek belirli bir kirleticinin derişimindeki artış nedeniyle kaç yaşam yılının kaybedildiği hesaplanabilmektedir.

DALY sadece ölümcül etkileri değil, aynı zamanda belirli bir süre acı ve ağrı vererek yaşam kalitesini düşüren etkileri de (öksürük, astım, hastanede yatma v.b.) dikkate almaktadır. Bu etkiler yetersizlik yılları (YLD, years of disability) olarak açıklanmaktadır. Hastalıkta, acı ve ağrı çekmeye bağlı olarak hastalığın ağırlıklandırma faktörü 0 ile 1 arasında değişmektedir. 0,5 ağırlık faktörüne sahip olan bir hastalıkta ağırlı geçen 1 yıl erken ölüm yılının yarı şiddetinde olarak kabul edilmektedir. Bu açıklamalardan hareketle;

$$DALY=YOLL+YLD \quad (1.1)$$

$$YLD=DW \times L \quad (1.2)$$

formulleriyle verilmekte,

DALY: Yetersizliği düzenlenmiş yaşam yılları (Disability Adjusted Life Years)

YOLL: Kaybedilen yaşam yılları (years of life lost)

YLD: Yetersizlik yılları (years of disability)

DW: Bağlı yetersizlik ağırlığı (disability weight)

L: Yetersizlik süresi (disability length)

olarak gösterilmektedir (Özkan, 2008).

İnsan sağlığı zarar kategorisine ait orta nokta kategorileri aşağıda verilmiştir:

İnsan toksisitesi (kanserojen ve kanserojen olmayan etkiler): İnsan faaliyetleri sonucu serbest bırakılan kimyasal bileşiklerin emisyonlarından kaynaklanabilecek olan çevre sorunudur. Böylece insanlar havaya, suya ve toprağa salınan zehirli maddelere maruz kalmaktadır. İnorganik maddeler nedeniyle solunum etkileri, iyonlaştırıcı radyasyon etkileri, ozon tabakası tahribatı etkileri ve fotokimyasal oksidasyon etkileri haricinde insan toksisitesi insan sağlığı üzerindeki tüm etkileri temsil etmektedir. İnsan toksisite zarar kategorisi “kg C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl eq” olarak ele alınmaktadır. İnsan toksisitesi etki sınıfı zihinsel bozukluk, kanser, sarılık, siroz, astım, alerji, böbrek yetmezliği, kemik deformasyonu ve kemik erimesi gibi sağlık problemlerini oluşturmaktadır (Frischknecht vd., 2007; Humbert vd., 2012).

Solunumla ilgili etkiler: Solunan organikler ve solunan inorganikler olmak üzere iki türlü etkisi vardır. Solunan organik maddeler, organik maddelerin havaya olan salınımları nedeniyle oluşan fotokimyasal sisten kaynaklanan solunum etkilerini içeren ve kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq salınım olarak açıklanan bir gruptur. Örn: 1- Butanol, hekzan, heptan, benzen, asetik asit gibi.

Solunan inorganik maddeler, toz, kükürt ve azot oksit salınımlarından kaynaklanan kış sisinin neden olduğu solunum etkilerini içeren ve “kg PM<sub>2,5</sub> eq” salınım olarak açıklanan bir gruptur. Örn: Amonyak, amonyum, azotoksit, tanecikler, kükürtdioksit, sülfat gibi (Frischknecht vd., 2007; Humbert vd., 2012).

İyonlaştırıcı radyasyon: İyonlaştırıcı radyasyon, iyonlaşabilen atomlardan veya iyonlaşabilen moleküllerden elektron koparmak için yeterli enerji taşıyan kuantumlara sahip olan herhangi bir elektromanyetik radyasyon türüdür. Bununla birlikte, iyonlaştırıcı radyasyonun farklı türlerinin farklı biyolojik etkileri gözlemlenmiştir ve yüksek biyolojik zararlar verebilirler. Radyoaktif maddelere örnek olarak, Amerikyum-241, Uranyum-234, Karbon-14 verilebilir. İyonlaştırıcı radyasyon orta nokta kategorisi “Bq Karbon-14/hava<sub>-eq</sub>” şeklinde ifade edilmektedir (Frischknecht vd., 2007; Humbert vd., 2012).

Ozon tabakasının tahribatı: Ozon tabakasında tahribata neden olan madde salınımları sonucu artan UV ışımının yarattığı hasar olup, “kg CFC-11 eq” olarak verilmiştir. Bu hasara neden olan maddelere örnek olarak CFC-115, metan, bromo-, Halon 1001 verilebilir. Ozon tabakasının incilmesi nedeniyle UV-B ışınının büyük bir kısmı yeryüzüne ulaşır. Bu ışın insan sağlığı, hayvan sağlığı, karasal ve sucul ekosistemler, biyokimyasal döngüler ve malzemeler üzerinde zararlı etkilere sahip olabilmektedir (Frischknecht vd., 2007; Humbert vd., 2012).

Fotokimyasal oksidasyon: Uçucu organik bileşenler ve azot oksitlerin gün ışığında salınımlarıyla yeryüzünde sis oluşmasıdır. Fotokimyasal oksidanlar (Ozon, Fotokimyasal sis) atmosferdeki azot oksitlerin ve hidrokarbonların verdiği fotokimyasal tepkimeler sonucu oluşan çeşitli kirleticilerdir. Foto oksidan oluşumu özellikle reaktif maddelerin oluşumu insan sağlığı ve ekosistemler için zararlıdır ve aynı zamanda ürüne de zarar verebilir. İnsan sağlığı üzerindeki fotokimyasal oksidasyon etkisi bazen “organiklerden kaynaklanan solunum etkileri” olarak adlandırılmaktadır. Bu problem yaz sisi ile gösterilebilir. Kış sisi bu kategorinin kapsamı dışındadır. Fotokimyasal oksidanların yaz sisi ve oksijenin tepkimesi sonucu toksik oluşumu gibi etkileri bulunmaktadır. Fotokimyasal oksidasyon kategorisi “kg Etilen/hava<sub>-eq</sub>” şeklinde ifade edilmektedir (Frischknecht vd., 2007; Humbert vd., 2012).

**Ekosistem kalitesi:** Ozon tabakası tahribatı, fotokimyasal oksidasyon, sudaki ekotoksosite, karasal ekotoksosite, karasal asit/besin birikimi, sudaki asidifikasyon, sudaki ötrofikasyon ve toprak işgali orta nokta kategorilerinin bütünü “ekosistem kalitesi” zarar kategorisidir. Ekosistem kalitesi etki “PDF.m<sup>2</sup>.yıl” olarak ifade edilir. Ekosistem kalitesine zarar değeri 13800 PDF.m<sup>2</sup>.yıl/kişi. yıl’dır. Karasal ekotoksosite ve toprak işgali hakimdir (Humbert vd., 2012).

Sudaki ekotoksosite: Bu kategori göstergesi toprak, hava ve sudaki toksik maddelerin emisyonlarının sonucu olarak yüzeysel su ekosistemleri üzerindeki etkiyi gösterir. Bu kategori yeraltısuyu, stratosfer ve okyanuslara verilen emisyonlar için kullanılmamıştır. Ağır metallerin sudaki ekotoksosite etkisi sadece çözülmüş iyonlarda yayılan metaller için geçerlidir. Sudaki ekotoksosite etki kategorisi “kg TEG/su<sub>-eq</sub>” olarak ifade edilir (Humbert vd., 2012).

Karasal ekotoksosite: Karasal ekotoksosite karakterizasyon faktörü hava, su ve toprağa verilen emisyonlar için sudaki ekotoksosite karakterizasyonu gibi hesaplanmaktadır. Maddelerin toprakta sadece sulu faz süresince maruz kalması ile ekotoksik etkisi olduğu tahmin edilmiştir. Orta nokta kategorisi olan karasal ekotoksisteste “kg TEG/toprak<sub>-eq</sub>” olarak ifade edilir (Humbert vd., 2012).

Sudaki asidifikasyon: Asit maddelerinin birikimi sonucu oluşan hava kirliliği başta amonyak, sülfür dioksit ve nitrojen oksitler asidifikasyona neden olur. Asidifikasyonun neden olduğu asit yağmuru göllere ve ormanlara zarar verdiği için önemli bir çevre sorunudur. Tatlı su ve kıyı ekosistemler, toprak ve hatta eski tarihi anıtları etkiler. Asidifikasyon potansiyelleri hidrojen iyonlarının sayısına dayanarak SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, HF ve NH<sub>3</sub> gibi asitleştirici gazlar için geliştirilmiştir. Hava asidifikasyonuna yardımcı gazlar asidifikasyon potansiyellerine göre toplanırlar. Sudaki asidifikasyon etki kategorisi “kg SO<sub>2</sub>/ hava<sub>-eq</sub>” olarak ifade edilir (Humbert vd., 2012).

Sudaki ötrofikasyon: Denizler, göller, akarsular ve nehirlerde azot ve fosfor gibi besin elementlerinin büyük oranda çoğalması ile oluşan çevresel bir sorundur. Fosfor ötrofikasyon için tatlı suda temel besin iken nitrat ise tuzlu suda önemli bir besindir. Sudaki ötrofikasyon “kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/su<sub>-eq</sub>” olarak ifade edilir (Humbert vd., 2012).

Karasal asit/besin birikimi: Sadece havaya verilen emisyonlar için karakterizasyon faktörü hesaplanmıştır. Karasal asit/besin birikimi etki kategorisi “kg SO<sub>2</sub>/hava<sub>-eq</sub>” olarak ifade edilir (Humbert vd., 2012).



Toprak işgali: Toprak işgali “m<sup>2</sup> organik tarıma uygun topraklar eq\*yıl” olarak ifade edilir. (Humbert vd., 2012).

**İklim değişimi:** Küresel ısınma orta nokta kategorisi ile aynı kategoride olan iklim değişimi zarar kategorisidir. İklim değişimi etki kategorisi “kg CO<sub>2</sub>-eq” olarak ifade edilir. 9950 kg CO<sub>2</sub>-eq /point iklim değişimi zarar faktöründe büyük ölçüde CO<sub>2</sub> emisyonları hakimdir (Humbert vd., 2012).

Küresel ısınma: Sera gazları, öncelikle karbon dioksit, metan ve azot oksitin birikmesi yoluyla insan faaliyetleri atmosferin kimyasal kompozisyonunu değiştirmiştir. Dünya daha sanayileşmiş hale geldikçe, bu gazların yüksek konsantrasyonu dünya atmosferinin ısı yakalama kapasitesini arttırmaktadır. IPCC metodundan alınan küresel ısınma etki kategorisi kg CO<sub>2</sub>/hava-eq olarak ifade edilmektedir. (Humbert vd., 2012).

**Kaynaklar:** Maden çıkarma ve yenilenemeyen enerji tüketimi gibi orta nokta kategorilerinin bütünü “kaynaklar” zarar kategorisidir. Bu zarar kategori “MJ” olarak ifade edilir. 152000 MJ/per.y. kaynaklar zarar faktöründe büyük ölçüde yenilenemeyen enerji tüketimi hakimdir (Humbert vd., 2012).

Yenilenemeyen enerji: Fosil yakıtlar ve radyoaktif elementler yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların bu şekilde isim almalarının nedeni kullandıkça bitmeleri ve yenilerinin gelmesinin çok uzun sürmesidir. Fosil yakıtlardaki karbon yanma tepkimeleri ile atmosferde CO<sub>2</sub> ve CO bileşiklerinin birikmesine neden olur. Orta nokta kategorisi olan yenilenemeyen enerjinin karakterizasyon faktörü “kg ham petrol-eq (860 kg/m<sup>3</sup>) veya MJ” olarak ifade edilir.

Maden çıkarma: Endüstriyel madenlerin çıkarılmasında kümülatif miktarları için gereğinden fazla enerji harcanmasını ifade eder. Maden çıkarma etki kategorisi “kg demir-eq cevheri veya MJ” olarak ifade edilmektedir.

Aşağıdaki bölümde kısaca orta nokta ve zarar kategorileri için ana değerlendirme özellikleri tanımlanmış olup Çizelge 3.11.’de IMPACT 2002+ özelliklerinin özeti gösterilmiştir (Humbert vd., 2012).

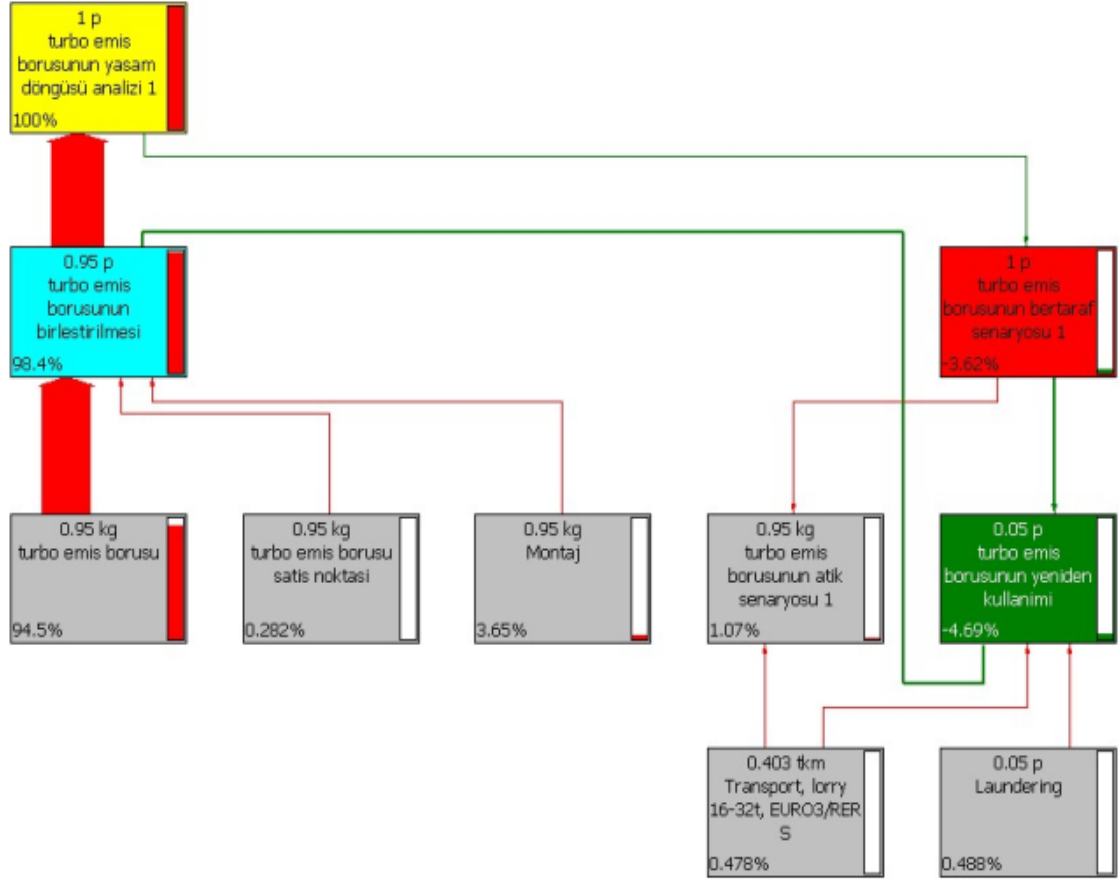
**Çizelge 3.11.** IMPACT 2002+'de kullanılan karakterizasyon faktörleri, referans maddeler, zarar kategorileri ve birimleri (Humbert vd., 2012)

Orta nokta kategori	Orta nokta referans madde	Zarar kategori	Zarar birimi
İnsan toksisitesi	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl/hava <sub>-eq</sub>	İnsan sağlığı	DALY
Solunumla ilgili İnorganikler	kg PM <sub>2,5</sub> /hava <sub>-eq</sub>	İnsan sağlığı	DALY
Solunumla ilgili organikler	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq/hava <sub>-eq</sub>	İnsan sağlığı	DALY
İyonlaştırıcı radyasyon	Bq Karbon-14/hava <sub>-eq</sub>	İnsan sağlığı	DALY
Ozon tabakası tahribatı	kg CFC-11/hava <sub>-eq</sub>	İnsan sağlığı	DALY
Fotokimyasal oksidasyon	kg Etilen/hava <sub>-eq</sub>	İnsan sağlığı Ekosistem kalitesi	DALY PDF.m <sup>2</sup> .y
Sudaki ekotoksosite	kg TEG/su <sub>-eq</sub>	Ekosistem kalitesi	PDF.m <sup>2</sup> .y
Karasal ekotoksosite	kg TEG/toprak <sub>-eq</sub>	Ekosistem kalitesi	PDF.m <sup>2</sup> .y
Karasal asit/ besin birikimi	kg SO <sub>2</sub> /hava <sub>-eq</sub>	Ekosistem kalitesi	PDF.m <sup>2</sup> .y
Sudaki asidifikasyon	kg SO <sub>2</sub> /hava <sub>-eq</sub>	Ekosistem kalitesi	PDF.m <sup>2</sup> .y
Sudaki ötrofikasyon	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /su <sub>-eq</sub>	Ekosistem kalitesi	PDF.m <sup>2</sup> .y
Toprak işgali	m <sup>2</sup> organik tarıma uygun toprak <sub>-eq</sub> *yıl	Ekosistem kalitesi	PDF.m <sup>2</sup> .y
Küresel ısınma	kg CO <sub>2</sub> /hava <sub>-eq</sub>	İklim değişimi (yaşam destek sistemi)	kgCO <sub>2</sub> /hava <sub>-eq</sub>
Yenilenemeyen enerji	MJ veya ham petrol <sub>-eq</sub> (860 kg/m <sup>3</sup> )	Kaynaklar	MJ
Maden çıkarma	MJ veya kg demir <sub>-eq</sub> cevheri	Kaynaklar	MJ

## 4.BULGULAR

### 4.1. Turbo emiş borusuna ait LCA bulguları

#### 4.1.1. Turbo emiş borusu'nun "Network" akım şeması



şekil 3.10. Turbo emiş borusunun network akım şeması

şekil 3.10'da görüldüğü gibi; %100 çevresel etki değerindeki "(1p) turbo emiş borusunun yaşam dđngüsü analizi 1" turbo emiş borusunun üretimi, satış noktası ve montajını içeren %98,4 çevresel etki değerindeki turbo emiş borusunun yaşam dđngüsü süreçlerinin birleştirilmesinden oluşmaktadır. şekil 3.10'daki bertaraf senaryosunda —%3,62 değerinde çevresel etki kazanımı vardır. Yaşam dđngüsü oluşturulmuş Network akım şemasından aşamalar tek tek seçilerek grup analizi yapılmıştır, grafiklerin analiz sonuçları ve grafiklerin detaylı açıklamaları "4.1.2. Turbo Emiş Borusunun Yaşam Dđngüsü Analizi" bölümünde belirtilmiştir.

#### 4.1.2. Turbo emiş borusunun yaşam dđngüsü analizi

Turbo emiş borusunun yaşam dđngüsü;

\*Üretim

—Dökümhane

—Talaşlı İmalat

\*Montaj

\*Satış Noktası

\*Bertaraf Senaryosu

Olmak üzere beş aşamada ele alınmıştır.

Bu aşamalar

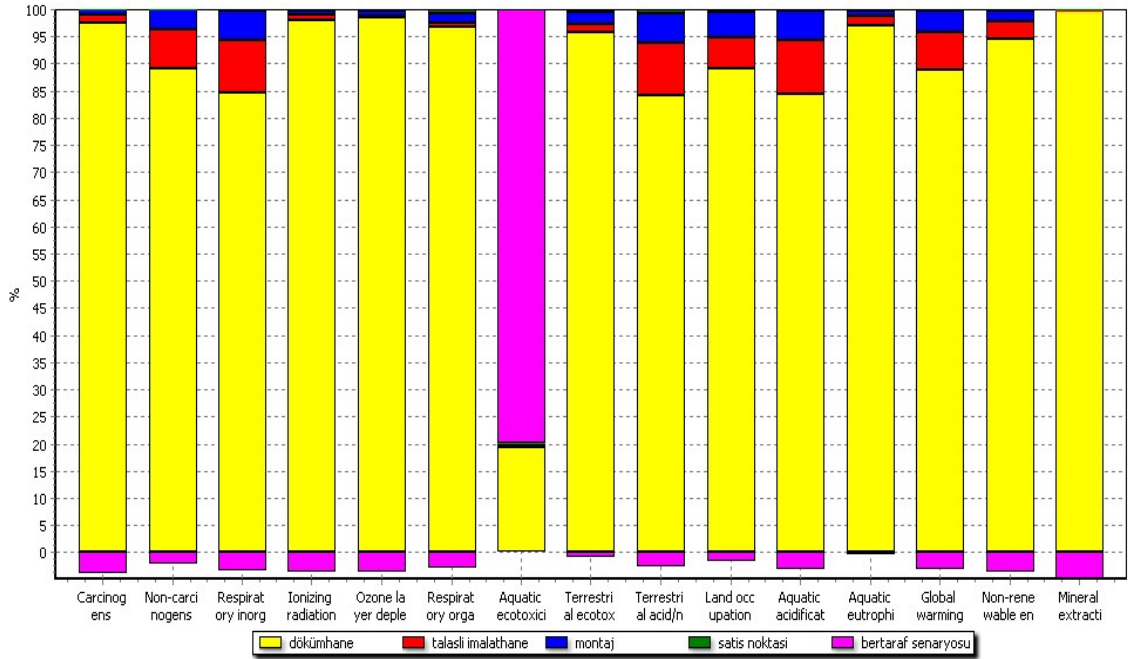
\*Orta nokta olan karakterizasyon etki kategorileri

\*Son nokta olan zarar etki kategorileri

şekil 3.11’de ve şekil 3.12’de verilen orta noktalar “ *Kanserojenler—Kanserojen olmayanlar—Solunan inorganikler—İyonlaştırıcı radyasyon—Ozon tabakasının tahribatı—Solunan organikler—Sudaki ekotoksisite—Karasal ekotoksisite—Karasal asit/besin birikimi —Toprak işgali—Sudaki asidifikasyon—Sudaki ötrofikasyon—Küresel ısınma—Yenilenemeyen enerji—Maden çıkarma*” olan barlardır.

Ve son noktalar; “*İnsan sağlığı—Ekosistem kalitesi—İklim değişimi—Kaynaklar*” olan barlar açısından bir değerlendirme yapılmıştır.

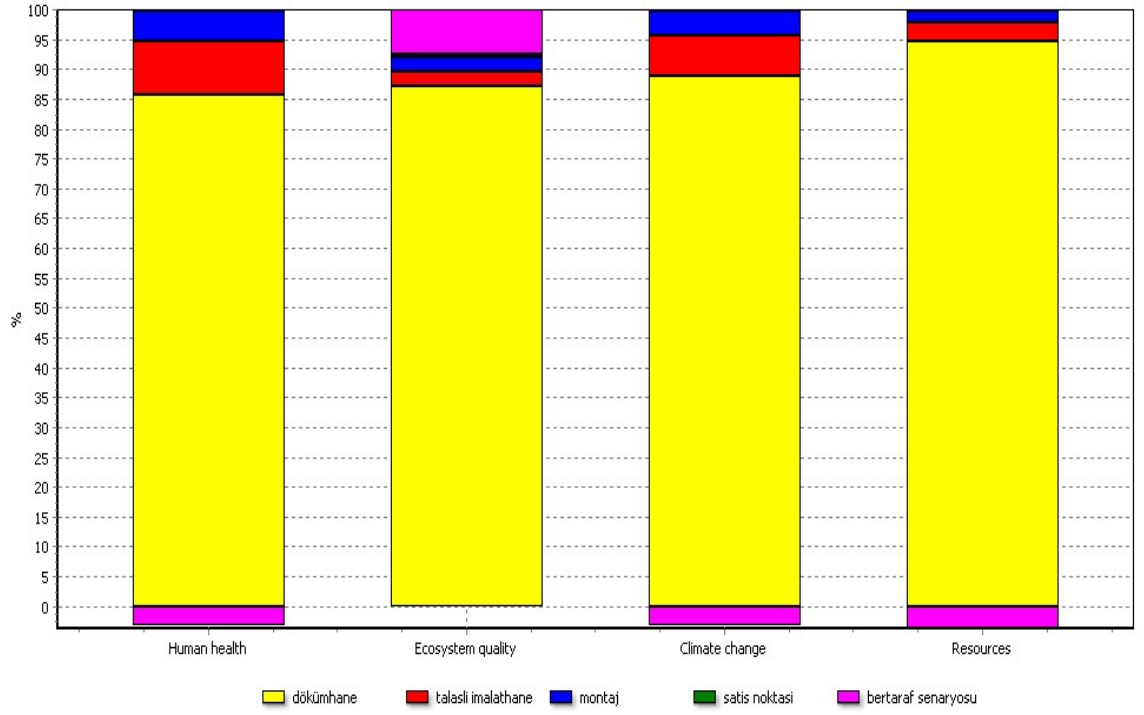
Turbo emiş borusunun değerlendirme grafiğinde ele alınan aşamalarının (%) olarak her bir zarar sınıfına olan katkılarını göstermektedir. Burada yapılan değerlendirme zarar sınıfları bazında olduğu için, grafikte görölen barlar birbirinden bağımsız olup grafiğin en üst noktasının tüm zarar sınıfları için aynı değerde olması anlamına gelmektedir. Grafiğin altında yer alan negatif değerler ise, seçilen atık senaryosuna bağlı olarak önlenen zararlı etkileri göstermekte ve grafik olumsuzluğu ifade ettiği için bu negatif değerler olumlu olarak ele alınmaktadır.



Analyzing 1 p 'turbo emis borusunun yaşam döngüsü analizi 1';  
Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+ / Characterization / Excluding infrastructure processes

**Şekil 3.11.** Zarar sınıflarına göre turbo emiş borusuna ait orta nokta kategorilerinin değerlendirilmesi

Yukardaki Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi “Sudaki ekotoksosite” kategorisi hariç diğer kategorilerde, iki üretim aşamalarından birincisi olan dökümhanede en fazla çevresel etkisi vardır. Dökümhanede girilen “AlSi10Mg—Stronsiyum—Azot gazı—Titanyum—Degazer tablet—Kum“ gibi hammadde ve yardımcı malzemeler, kullanılan “Propan” gazı ve “3,7 kwh” değerinde elektrik enerjisi ek olarak “bor yağı—kum—ocak curüfü” gibi oluşan atıklar gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. İkinci üretim aşaması olan talaslı imalathanede ise; “1kwh” değerindeki elektrik enerjisi harcandığı için dökümhaneye göre etkisi az olmuştur. Bertaraf “Sudaki ekotoksosite” de zararlı etkisi büyük oranda görülmektedir. Bunun sebebi; turbo emiş borusunun hammadde eldesi ve üretim süreçlerinde oluşan atıkların yüzeysel sulardaki etkisinden kaynaklanmaktadır. “Sudaki ötrofikasyon” kategorisinde bertarafın çok az etkisi vardır bunların dışında diğer kategorilerde ise bertarafda kazanım görülmektedir. “1 kwh” elektrik enerjisi ve taşıma girdisi olan Montaj ve Satış noktasında ise; “Maden çıkarma” kategorisi hariç diğer kategorilerde hemen hemen çevresel etki görülmektedir ve bu etki üretime göre azdır. Bunun sebebi; yazılım “Maden çıkarma” kategorisinde mineral köken/kaynakları için zarar hesaplanması uygundur. Satış ve Montaj kısmında elektrik enerjisi ve ulaşım mineral kökenlerine veya cevherlere etkisi olmadığı için barda gözükmemektedir.



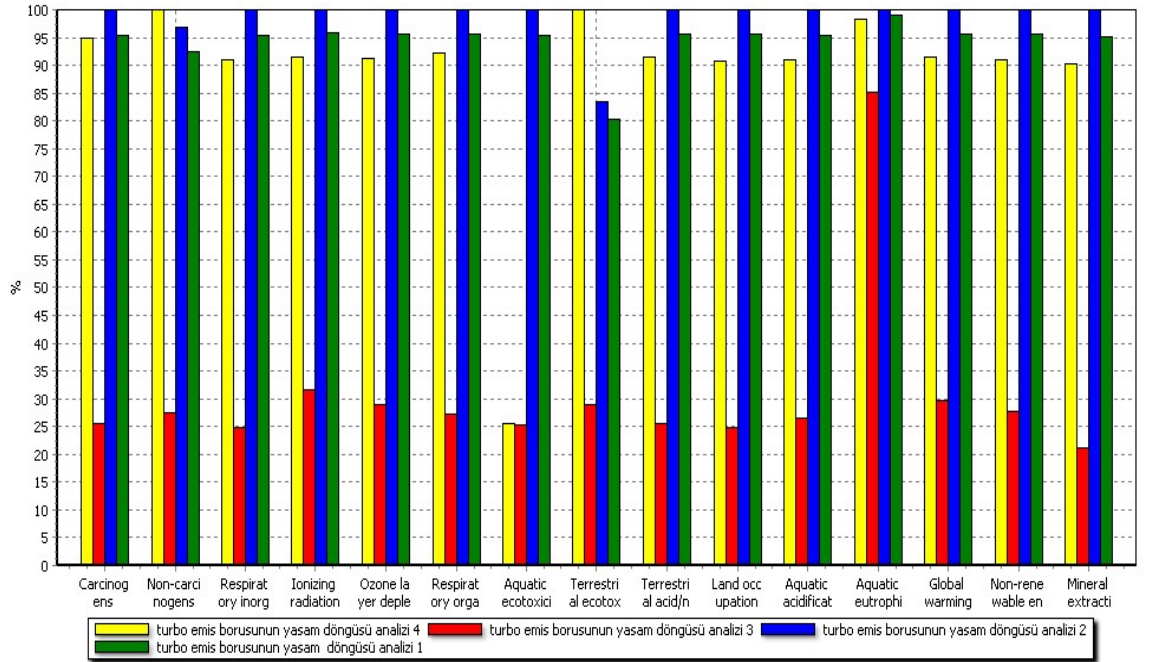
Analyzing 1 p 'turbo emis borusunun yaşam döngüsü analizi 1';  
Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+ / Damage assessment / Excluding infrastructure processes / Excluding long-term emissions

**Şekil 3.12.** Zarar sınıflarına göre turbo emiş borusuna ait son nokta kategorilerinin Değerlendirilmesi

Yukardaki Şekil 3.12. göre; Dökümhanede bütün son nokta kategorilerinde en fazla etki görülmektedir. “Ekosistem kalitesi” kategorisi hariç diğer zarar etki kategorilerinde kazanım görülmektedir. Bertaraf senaryosunda ise “Ekosistem kalitesi” kategorisinde zararlı çevresel etki olarak görülmektedir. Bunun sebebi orta nokta olan “Sudaki ekotoksosite” ekosistem kalitesinin alt kategorisi olduğu için “Sudaki ekotoksosite” karakterizasyon etki kategorisindeki bertarafın zarar etkisi aynen “Ekosistem kalitesi” kategorisinde gözlenmiştir. Son nokta olan zarar etki kategorilerinin hepsinde talaslı imalathane-montaj-satış noktasının çevresel etkisi dökümhaneye göre az olduğu görülmektedir.

### 4.1.3. Turbo Emiş Borusunun varsayılan atık senaryoları

Çizelge 3.14’de oluşturulan atık senaryolarına göre, orta nokta olan zarar sınıfları, son nokta olan zarar değerlendirmesi ‘nin grafikleri aşağıda oluşturulmuştur.

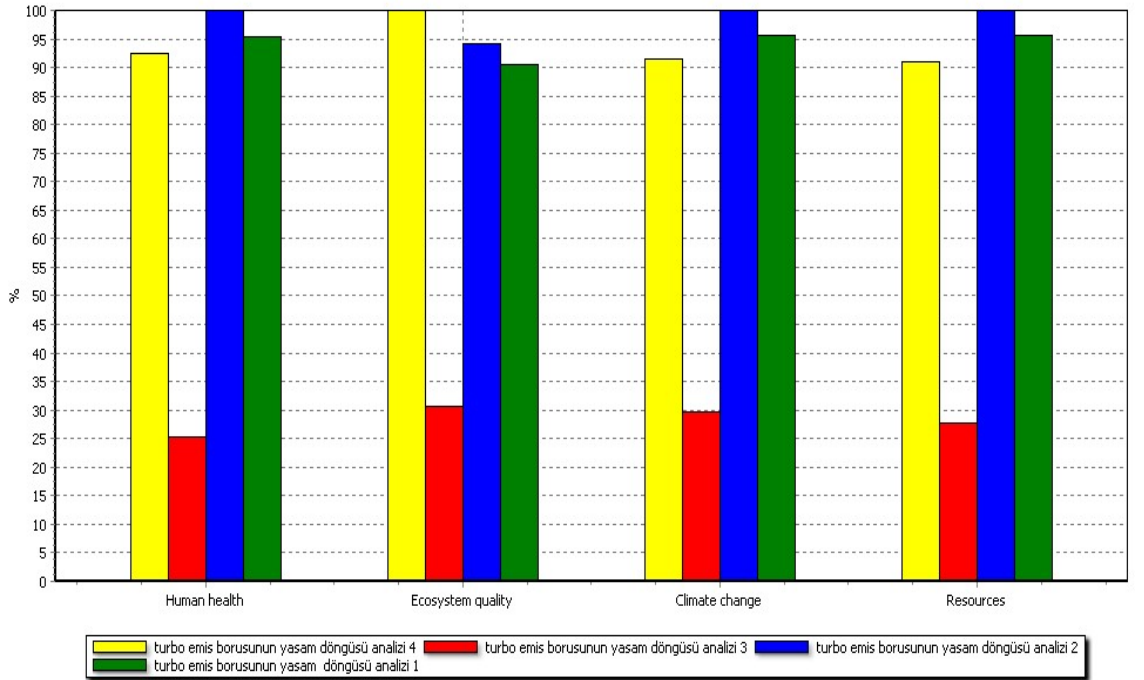


Comparing 1 p 'turbo emis borusunun yaşam döngüsü analizi 4', 1 p 'turbo emis borusunun yaşam döngüsü analizi 3', 1 p 'turbo emis borusunun yaşam döngüsü analizi 2' and 1 p 'turbo emis borusunun yaşam döngüsü analizi 1'  
Method: IMPACT 2002+ / V2.10 / IMPACT 2002+ / Characterization / Excluding infrastructure processes / Excluding long-term emissions

**Şekil 3.13.** Orta nokta kategorilerine göre turbo emiş borusuna ait farklı atık senaryolarının karşılaştırılması

Zarar sınıflarına göre karşılaştırmanın sonuçlarını veren yukardaki Şekil 3.13’e göre; (Yeniden kullanım % 0—Geri Dönüşüm % 0—Yakma % 0—Düzenli Depolama %100) varsayılan değerlerden oluşan yaşam döngüsü analizi 2 atık senaryosunda karasal ekotoksosite kategorisinde yaklaşık %84 ve diğer tüm kategorilerde %100 etki görülmektedir. (Yeniden kullanım % 10—Geri Dönüşüm % 15—Yakma % 75—Düzenli Depolama % 0) varsayılan değerlerden oluşan yaşam döngüsü analizi 4 atık senaryosunda, Kanserojen olmayanlar ve Karasal ekotoksosite kategorilerinde % 100 etki, Sudaki ötrofikasyon kategorisinde yaklaşık %98 etki, Sudaki ekotoksosite kategorisinde %25 etki ve diğer kategorilerde %95—%25’in arasında etki göstermektedir. (Yeniden kullanım % 5—Geri Dönüşüm % 90—Yakma % 2— Düzenli Depolama %3) varsayılan değerlerden oluşan yaşam döngüsü analizi 1 atık senaryosuna göre; Sudaki ötrofikasyon kategorisinde yaklaşık %99 etki, Karasal ekotoksosite kategorisinde yaklaşık %80 etki ve diğer kategorilerde %95 etki göstermektedir. (Yeniden kullanım % 80—Geri Dönüşüm % 15—Yakma % 0—Düzenli Depolama %5) varsayılan değerlerden oluşan yaşam döngüsü analizi 3 göre; Sudaki ötrofikasyon

kategorisinde %85 etki, İyonlaştırıcı radyasyon ve Küresel ısınma kategorilerinde %30 etki ve diğer kategorilerde %30 altında etki görülmektedir.



Comparing 1 p 'turbo emis borusunun yaşam döngüsü analizi 4', 1 p 'turbo emis borusunun yaşam döngüsü analizi 3', 1 p 'turbo emis borusunun yaşam döngüsü analizi 2' and 1 p 'turbo emis borusunun yaşam döngüsü analizi 1'  
Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+ / Damage assessment / Excluding infrastructure processes / Excluding long-term emissions

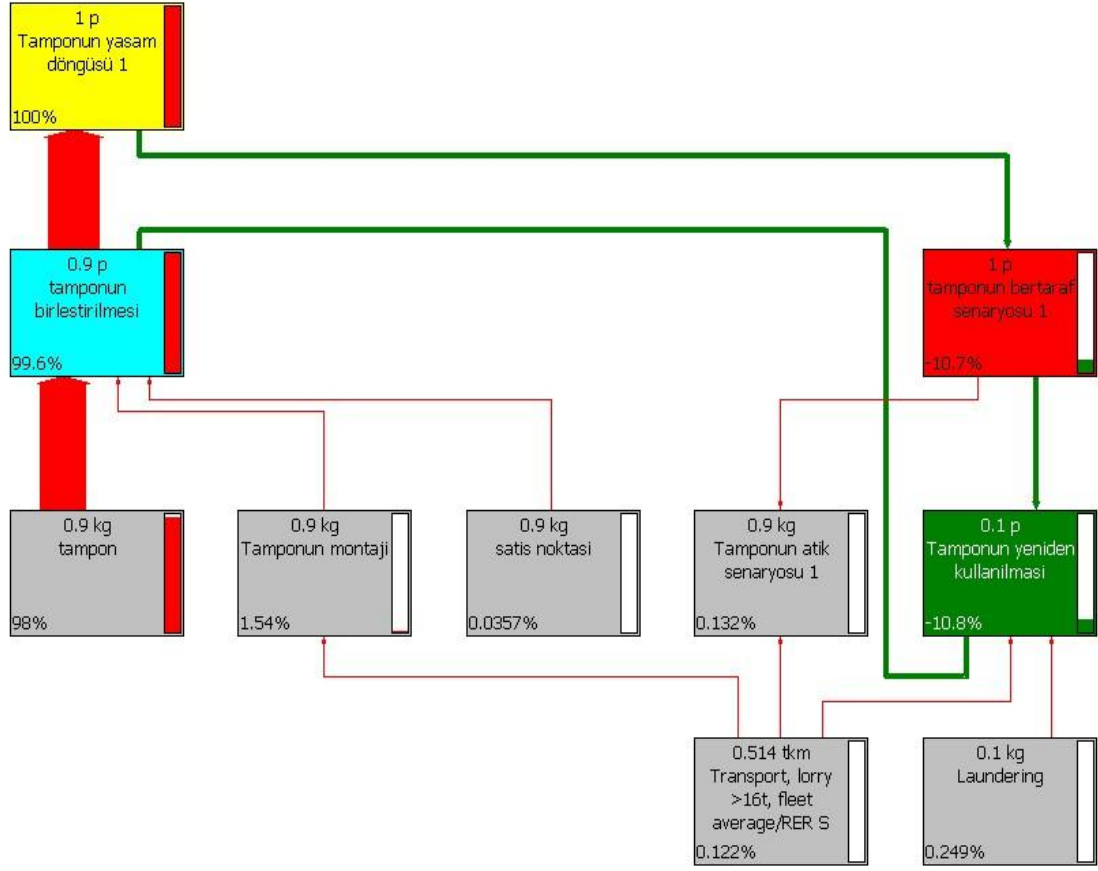
**Şekil 3.14.** Son nokta kategorilerine göre turbo emiş borusuna ait farklı atık senaryolarının karşılaştırılması

Varsayılan dört atık senaryosu analizinin pik değerlerine baktığımızda; Düzenli depolama %100 olan analiz 2 de; “İnsan sağlığı—İklim değişimi—Kaynaklar” kategorilerinde %100 etki ve “Ekosistem kalitesi” kategorisinde yaklaşık %95 etki görülmektedir. Geri Dönüşümü %90 olan analiz 1 de; “Ekosistem kalitesi” zarar etki kategorisinde %90 etki ve diğer kategorilerde %95 etki görülmektedir. Yakma %75 olan analiz 4 de; “Ekosistem kalitesi” etki kategorisinde %100 ve diğer kategorilerde yaklaşık %91 etki görülmektedir. Yeniden kullanımı %80 olan analiz 3 de; tüm kategorilerde %25 ile %30 arasında etki değerleri değişiyor. Son olarak orta nokta olan karakterizasyon etki kategorileri ve son nokta olan zarar etki kategorileri değerlendirmesine göre en dezavantajlı atık senaryosu düzenli depolaması %100 olan yaşam döngüsü analizi 2 ve en avantajlı atık senaryosu da yeniden kullanımı %80 olan yaşam döngüsü analizi 3’ dür.



## 4.2. Tampona ait LCA bulguları

### 4.2.1. Tamponun “Network” akım şeması



Şekil 3. 15. Tamponun “Network” akım şeması

Şekil 3.15’de görüldüğü gibi; (%100) çevresel etki değerindeki “(1p) tamponun yaşam döngüsü analizi 1”, tamponun üretimi, montajı, satış noktasını içeren %99,6 çevresel etki değerindeki tamponun yaşam döngüsü süreçlerinin birleşmesinden oluşur. Şekil 3.15’deki bertaraf senaryosunda (-%10,7) değerinde çevresel etki kazanımı vardır. Yaşam döngüsü oluşturulmuş Network akım şemasından aşamalar tek tek seçilerek grup analizi yapılmıştır, grafiklerin analiz sonuçları ve grafiklerin detaylı açıklamaları “4.2.2 Tamponun Yaşam Döngüsü Analizi” bölümünde belirtilmiştir.

#### 4.2.2. Tamponun Yaşam Döngüsü Analizi

Tamponun yaşam döngüsü;

\*Üretim

- Presleme
- Parça Hazırlama
- Boya Ön Hazırlık
- Boyahane
- Son Kontrol

\*Montaj

\*Satış Noktası

\*Geri Dönüşüm

\*Bertaraf

Olmak üzere beş aşamada ele alınmıştır.

Bu aşamalar

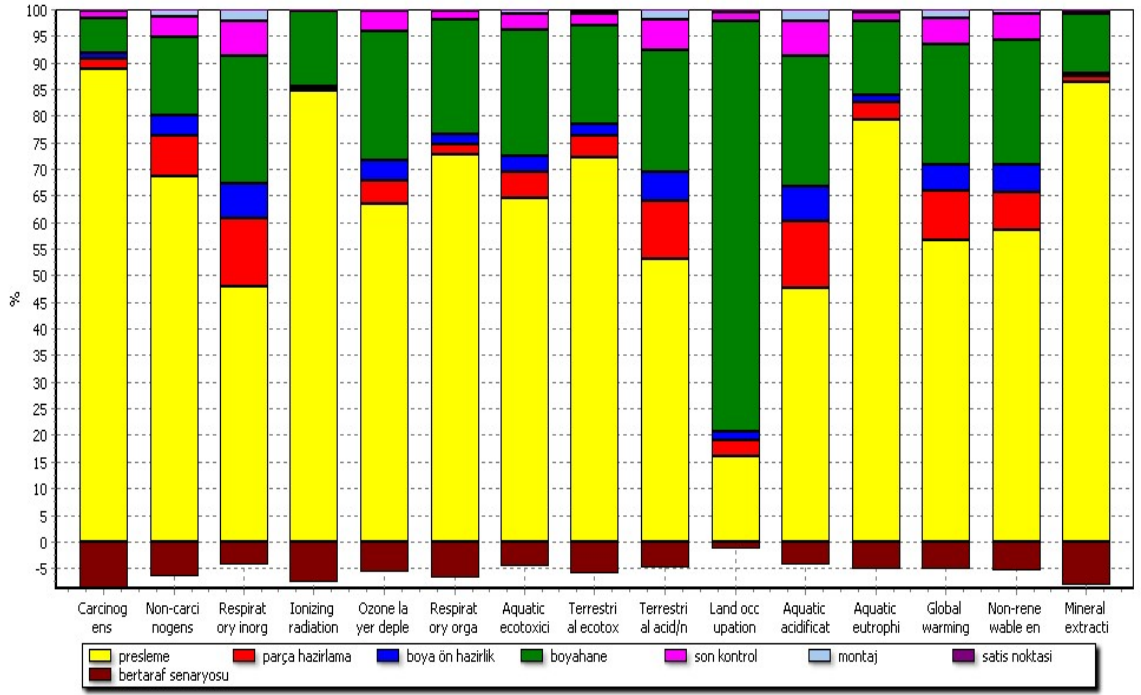
\*Orta nokta olan karakterizasyon etki kategorileri

\*Son nokta olan zarar etki kategorileri

Şekil 3.16’de ve Şekil 3.17’de verilen orta noktalar “ *Kanserojenler—Kanserojen olmayanlar—Solunan inorganikler—İyonlaştırıcı radyasyon—Ozon tabakasının tahribatı—Solunan organikler—Sudaki ekotoksisite—Karasal ekotoksisite—Karasal asit/besin birikimi —Toprak işgali—Sudaki asidifikasyon—Sudaki ötrofikasyon—Küresel ısınma—Yenilenemeyen enerji—Maden çıkarma*” olan barlardır.

Ve son noktalar; “*İnsan sağlığı—Ekosistem kalitesi—İklim değişimi—Kaynaklar*” olan barlar açısından bir değerlendirme yapılmıştır.

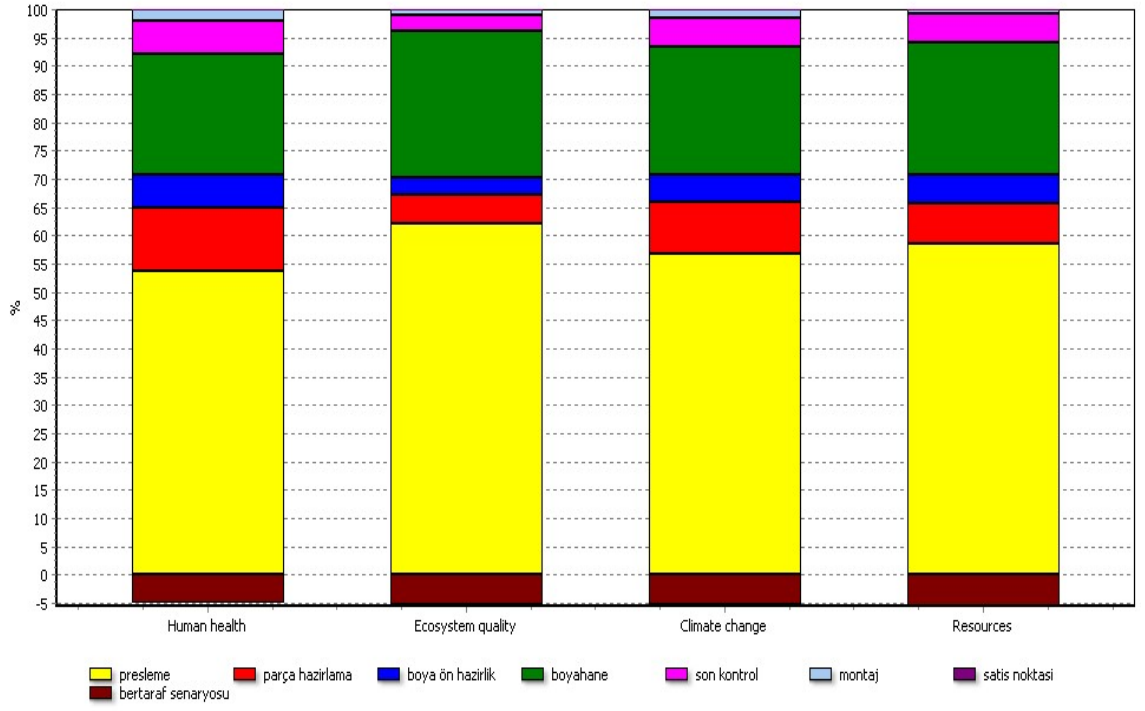
Değerlendirme grafiği tamponun, ele alınan aşamalarının (%) olarak her bir zarar sınıfına olan katkılarını göstermektedir. Burada yapılan değerlendirme zarar sınıfları bazında olduğu için, grafikte görülen barlar birbirinden bağımsız olup grafiğin en üst noktasının tüm zarar sınıfları için aynı değerde olması anlamına gelmektedir. Grafiğin altında yer alan negatif değerler ise, seçilen atık senaryosuna bağlı olarak önlenen zararlı etkileri göstermekte, grafik olumsuzluğu ifade ettiği için bu negatif değerler olumlu olarak ele alınmaktadır.



**Şekil 3.16.** Zarar sınıflarına göre tampona ait orta nokta kategorilerinin değerlendirilmesi

Yukardaki Şekil 3.16 da görüldüğü gibi üretim aşamalarından olan en fazla zarar etkisini presleme ve ikinci sırada boyahanedeki görülmektedir. Preslemede girilen “Cam elyaf katkılı sentetik reçine” ve “Kurşunlu pirinç (CuZn40Pb3)” gibi hammadde ve yardımcı malzeme, boyahanedeki girilen “DC(PPG)-MBT(PPG)-MBT(DuPoint)-DB7354” gibi boya maddeleri, kullanılan doğal gaz 8.4 m<sup>3</sup> ve 27.47 kwh değerindeki elektrik enerjisi ek olarak 2.7 kg miktarında evsel atık, 0.938 kg değerinde boya çamuru atığı ve 0.014 kg değerinde kontamine atık gibi faktörlerin fazla çevresel etki gösterdiği tahmin edilmektedir.

“Toprak işgali” kategorisinde boyahanedeki kaynaklanan çevresel zarar, preslemeden kaynaklanan çevresel zarardan fazladır. Bunun sebebi; SimaPro7.3.2 yazılımı “Toprak işgali” barında genelde elverişli tarımsal topraklar ve bitki örtüsü üzerindeki zarar faktörünü esas alır. Boyahanedeki kaynaklanan boya çamuru atığının çevresel etkisi preslemeden kaynaklanan kontamine atığa göre fazla olduğundan boyahane üretim sürecinin bu kategoriye etkisi daha fazladır.



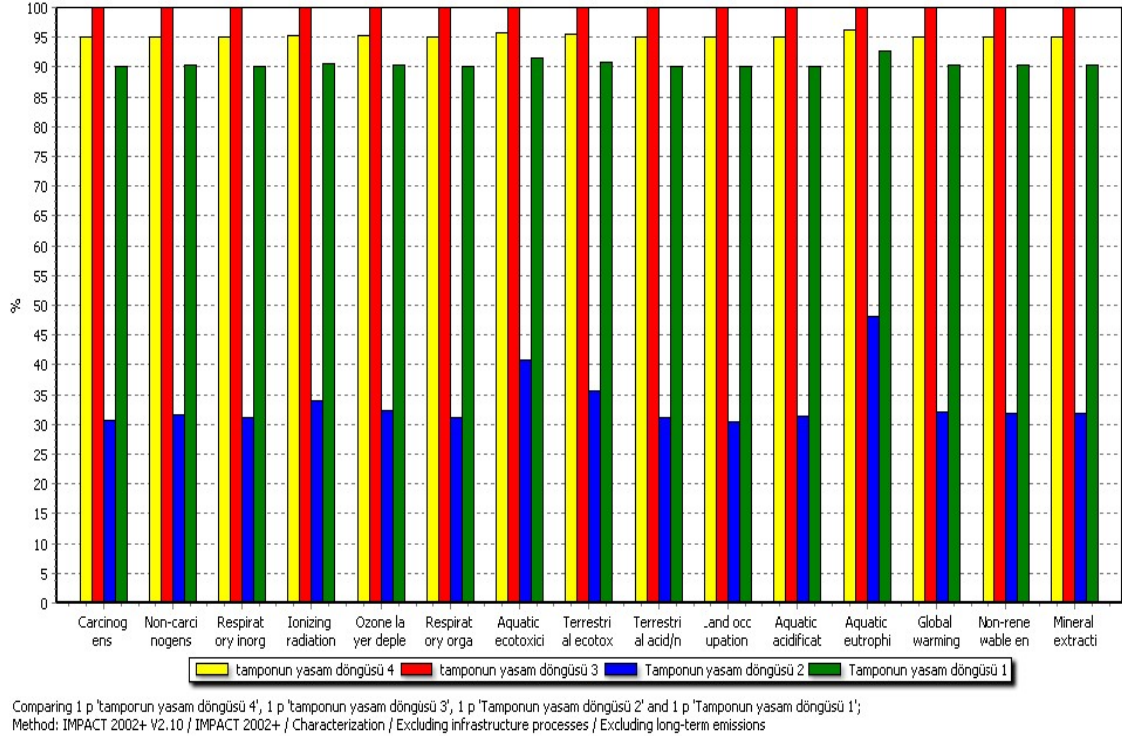
Analyzing 1 p 'Tamponun yaşam döngüsü 1';  
 Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+ / Damage assessment / Excluding infrastructure processes / Excluding long-term emissions

**Şekil 3.17.** Zarar sınıflarına göre tampona ait son nokta kategorilerinin değerlendirilmesi

Yukardaki Şekil 3.17.'de presleme üretim sürecinin bütün kategorilerde en fazla çevresel etkisi görülmektedir. İkinci olarak boyahanenin çevresel etkisi görülmektedir. Bunun sebebi Orta nokta kategorileri son nokta kategorilerine bağlı olduğu için orta noktalardaki genel etkiler son noktaya yansımıştır. Ek olarak bütün barlarda kazanım (bertaraf senaryosu) (-%5) dir.

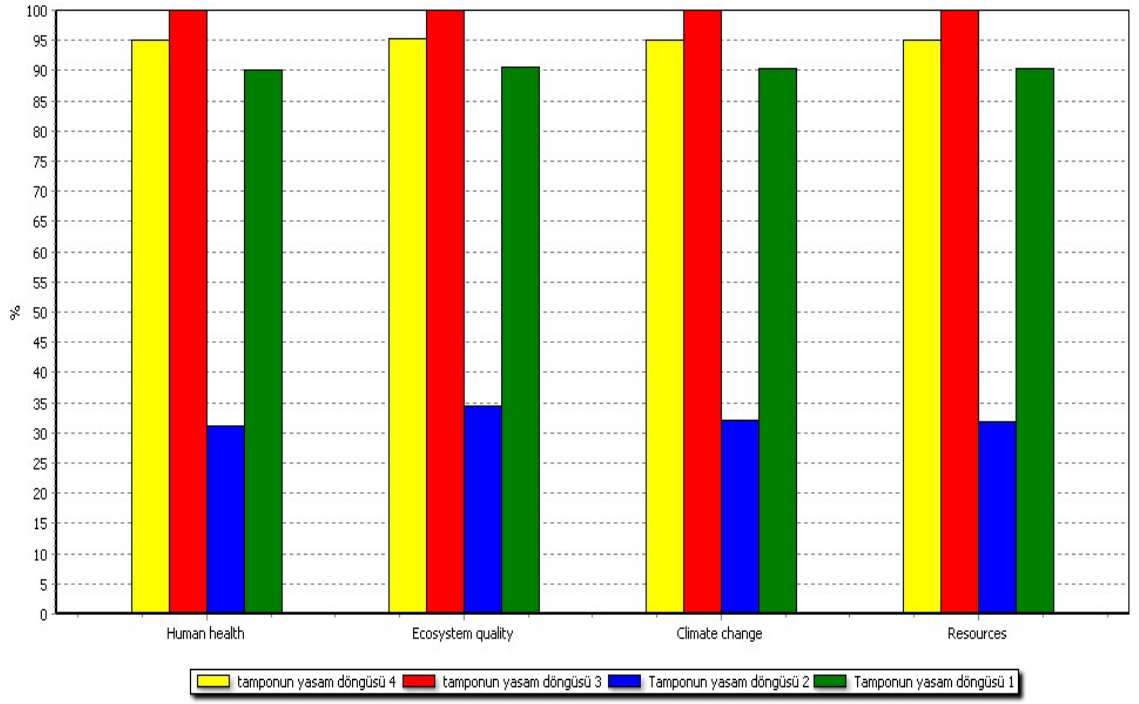
### 4.2.3. Tamponun varsayılan atık senaryoları

Çizelge 3.18’de oluşturulan atık senaryolarına göre zarar sınıfları, zarar değerlendirilmesi’nin grafikleri aşağıda oluşturulmuştur.



**Şekil 3.18.** Orta nokta kategorilerine göre tampona ait farklı atık senaryolarının karşılaştırılması

Zarar sınıflarına göre karşılaştırmanın sonuçlarını veren yukardaki Şekil 3.18.’e göre; (Yeniden kullanım % 0—Geri Dönüşüm % 0—Yakma % 5—Düzenli Depolama %95) varsayılan değerlerden oluşan yaşam döngüsü analizi 3 atık senaryosunda bütün barlarda %100 etki göstermektedir. (Yeniden kullanım % 5—Geri Dönüşüm % 80—Yakma % 10 —Düzenli Depolama % 5) varsayılan değerlerden oluşan yaşam döngüsü analizi 4 atık senaryosunda bütün barlarda %95 etki göstermektedir. (Yeniden kullanım % 10—Geri Dönüşüm % 30—Yakma % 50—Düzenli Depolama %10) varsayılan değerlerden oluşan yaşam döngüsü analizi 1 atık senaryosuna göre; %90 etki göstermektedir. (Yeniden kullanım % 70 —Geri Dönüşüm % 0—Yakma % 20—Düzenli Depolama %10) varsayılan değerlerden oluşan yaşam döngüsü analizi 2 atık senaryosunda bütün barlarda yaklaşık %50 ile %30 arasında etki göstermektedir. Grafığe genel olarak baktığımızda en az zarar gösteren ve avantajlı atık senaryosu yaşam döngüsü analiz 2’dir.



Comparing 1 p 'tamponun yaşam döngüsü 4', 1 p 'tamponun yaşam döngüsü 3', 1 p 'Tamponun yaşam döngüsü 2' and 1 p 'Tamponun yaşam döngüsü 1';  
Method: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+ / Damage assessment / Excluding infrastructure processes / Excluding long-term emissions

**Şekil 3.19.** Son nokta kategorilerine göre tampona ait farklı atık senaryolarının karşılaştırılması

Yukardaki Şekil 3.19.'a genel olarak baktığımızda analiz 3'de %100 zarar etkisi, analiz 4'de %95 zarar etkisi, analiz 1'de %90 zarar etkisi son olarak analiz 2' de %35 ile %30 arasında zarar etkisi görülmektedir. Orta noktadaki durumlar aynen son noktada geçerli olduğu için yine yaşam döngüsü analiz 2 diğer atık senaryolarına göre avantajlıdır.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yaşamı kolaylaştırmak adına hayatımıza giren makine ve aletlerde kullanılan malzemeler doğayı, yaşam alanlarını ve insanları koruma davranışları kapsamında geri kazanım konusuna ilgiyi arttırmıştır.

Otomotiv endüstrisinde uygulanan plastik ve alüminyum malzemelerinin geri dönüşüm çalışmaları, çevreye duyulan önem ve malzeme hafifliği göz önünde bulundurulduğunda otomotiv sektörü için yol gösterici niteliktedir. Bir otomobilde ortalama 160 kg plastik, 90 kg alüminyum malzeme kullanılmış olması otomotiv endüstrisi içerisinde plastik malzemelerin aracın parçalanmasında sağladığı kolaylık da göz önünde bulundurulursa otomotiv endüstrisi içerisinde plastik ve alüminyum malzemenin geri dönüşümü hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır.

Bugün yaşam döngü değerlendirmesi sayesinde seçilen ürünlerin çevre açısından diğerlerinden daha avantajlı olması nedeniyle politik kararların verilmesinde LCA artan bir şekilde birincil referans olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte LCA yaklaşımı çalışma sınırlarının belirlenmesi, toplanan bilgilerin kalite ve güvenilirlikleri, bu bilgilerin analizinde kullanılan yaklaşımlar, çalışmayı yürüten kişi ve kuruluşların görüş açıları gibi konulardaki farklılıklara bağlı olarak çok değişik sonuçlar verebilmektedir.

Bu nedenle bu çalışmaların sonuçları dikkatle incelenmeli ve karar aşamasındaki ağırlıkları dikkatli belirlenmelidir. Bu konuda yapılan çalışmaları kolaylaştırmaya yönelik veri tabanı oluşturma, mevcut bilgisayar yazılımların iyileştirilmesi ve yenilerinin geliştirilmesi gibi çalışmalar üzerine yoğunlaşılmalıdır.

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında LCA sistematiği için Hollanda firması patentli SimaPro 7.3.2 isimli bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Otomotiv endüstrisinde kullanılan otomotiv parçalarından Turbo Emiş Borusu ve Tampon verileri bu yazılımda değerlendirilmiştir.

Turbo Emiş Borusu verileri Gebze'de bulunan Şirvanlı Alüminyum Döküm ve Metal Sanayi firmasından ve tampon verileri ise Aksaray'da bulunan Poly-Tech Plastik firmasından alınmıştır. Bu iki otomotiv parçasında elde edilen veriler SimaPro7.3.2 yazılımında uygulanarak Çevre mühendisliği disiplini açısından bazı bulgular saptanmıştır.

Turbo Emiş Borusu için (%) değeri olarak Network retim akım Şeması gösterilmiş, orta nokta olan zarar sınıfı (karakterizasyon) grafiğine baktığımızda en çok zarar etkisi üretim aşaması olan dökümhanede görülmektedir. Bu retim aşamasında dkmhaneden çıkan atıklar mümkün olduğunca bertaraf edilmesi sonucu çevreye verilen zarar azaltılabilir.

Turbo emiş borusu için atık senaryolarından; yaşam döngüsü analiz 1'de (%90 Geri dönüşüm), analiz 2'de (%100 Düzenli depolama), analiz 3'de (%80 Yeniden kullanım), analiz 4'de ise (%75 Yakma) pik değerleri alınarak evre etki değerlendirmesi açısından en avantajlı atık senaryosu analiz 3 olduğu görülmektedir. Turbo emiş borusunun hammaddesi olan alüminyum otomotiv endüstrisinde yeniden kullanımı oldukça önem arz etmektedir.

Tampon için; (%) değeri olarak Network retim akım Şeması gösterilmiştir. Orta nokta olan zarar sınıfına (karakterizasyon etki kategorileri) baktığımızda; Toprak işgali barı hariç hemen hemen bütün barlarda üretim aşaması olan preslemede çevresel etki görülmektedir. Preslemeden çıkan boya çamuru, evsel ve kontamine atığının geri kazanımı ve nihai bertarafı sağlanarak mümkün olduğu kadar çevreyle temasını nlemeliyiz.

Tampon için dört farklı atık senaryosu oluşturulmuştur. Her bir atık senaryosunda yeniden kullanım—geri dönüşüm—yakma—düzenli depolama gibi bertaraf senaryolarının pik değerlerinde herhangi birisi maksimum değer olarak ele alınmıştır. Yeniden kullanımı maksimum değer olarak %70 olan yaşam döngüsü analiz 2 en avantajlı atık senaryosudur. Otomotiv endüstrisinde tamponun hammaddesi olan plastik matrisli kompozit malzemenin %100 yeniden kullanımı sağlanmalıdır.

Sonuç olarak otomotiv endüstrisinin özellikle yan sanayisinde üretim aşamalarında oluşacak atıkların bertarafını sağlamak ve oluşan katı atıkları düzenli depolamaya göndermemek gerekir. Ayrıca otomotiv endüstrisinde kullanılan hammaddelerin %100 geri dönüşümlü ve yeniden kullanılabilir olması evre etki değerlendirmesi açısından elzem'dir.



## KAYNAKLAR

- Alves, C., Ferrao, P.M.C., Silva, A.J., Reis, L.G., Freitas, M., Rodrigues, L.B., Alves, D.E., 2009. Ecodesign of automotive components making use of naturel jute fiber composites, *Journal of CleanerProduction*, 40, 45700–000, Portugal.
- Ateş Kut, T., CTP Teknolojisi, Cam Elyaf Sanayii A.Ş.
- Aytekin, V., 2011. Gemi kökenli atık olarak elyaf takviyeli plastik kompozitlerin ömür döngüsü yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, DÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Curran, M.A., 2006. Life cycle assessment: Principles and Practice, U.S. Environmental Protection Agency National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati.
- Çokaygil, Z., 2005. Atık yönetimi planlamasında yaşam döngüsü analizi, Yüksek Lisans Tezi, AÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Darıdereli, Y., 2010. Alüminyum alaşımlarının mikroyapı, mekanik özellikler ve aşınma direncine yaşlanmanın etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- EBN (Environmental Building News), 2002a. Life-cycle assessment for buildings: seeking the holy grail, Volume 11, Number: 3, USA.
- Ekşi, O., 2007. Plastik esaslı malzemelerin ısıl şekil verme özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, TÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Erkayaoğlu, M., 2011. Sürdürülebilir madencilik için kamyon ve bantlı konveyörlerin yaşam döngüsü değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ermolaeva, N.S., Castro, M.B.G., Kandachar, P.V., 2004. Materials selection for an automotive structure by integrating structural optimization with environmental impact assessment, Faculty of Industrial Design Engineering, Delft University of Technology, Netherlands.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.J., Doka, G., Dones, R., Hischer, R., Hellweg, S., Humbert, S., Margni, M., Nemecek, T., Spielmann, M., 2007. Implementation of Life Cycle Impact Assessment methods: Data v2.0. ecoinvent report No.3, Swiss centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.J., Doka, G., Dones, R., Hischer, R., Hellweg, S., Humbert, S., Margni, M., Nemecek, T., Spielmann, M., 2009. Code of practice: Data v2.1. ecoinvent report No.2, Swiss centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.
- GEN (Global Ecolabelling Network), 2004. Information paper: introduction to ecolabelling, Japan.
- Goedkoop, M., Oele, M., Schryver, A., Marisa, V., Hegger, S., 2007. SimaPro 7.1 Tutorial, Pre Consultants, Netherlands

- Goedkoop, M., Oele, M., Schryver, A., Marisa, V., Hegger, S., 2010. SimaPro database manual, Pre Consultants, Netherlands
- Güler, G., 2004. Yaşam döngüsü değerlendirmesi ve çevre mühendisliği açısından uygulama alanları, Lisans Tezi, AÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- Haes, H., Heijungs, R., 2007. Life cycle assesment for energy analysis and management, Applied Energy, 84: 817–827
- Humbert, S., Schryver, A., Margni, M., Jolliet, O., 2012. IMPACT 2002: User guide, Draft for version Q2.2, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), Switzerland.
- James, K.L., 2003. Environmental life cycle cost in the Australian food packaging supply chain, Doctoral Thesis, Victoria University, Faculty of Business and Law, Victoria, Australia.
- Jensen, A.A., Hoffman, L., Moller, B., Schmit, A., Christiansen, K., Elkington, J. ve Dijk, F.V., 1997. Life cycle assessment a guide to approaches, Experiences and Information Sources, European Environment Agency, Denmark.
- Kıral, S., 2008. Döküm yöntemi ile üretimde hurda kaynakları ve özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mındıkoğlu, B., 2007. ISO 14001 ÇYS Standardı: İşletmelerin karşılaştıkları problem ve zorluklar üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, AÜ., Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- Morris, J., 1997. Green Goods? consumers, product labels and the environment, environment unit, IEA The Institute of Economic Affairs, No: 8, London, UK.
- Ölmez, G., 2011. Demir ve çelik üretimi alt süreçleri ve nihai ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi ile karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ODTÜ, Ankara.
- Özcömert, M., 2006. Otomotiv endüstrisinde alüminyum, İstanbul Ticaret Odası.
- Özdemir, U., 2010. Hafif metallerin otomotiv sektöründeki yeri ve uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özeler, D., Demirer G.N., 2000. Önleyici çevre yönetiminde ürün ve proses optimizasyonu için yeni bir yöntem hayat boyu değerlendirme (Life Cycle Assessment), Endüstri ve Otomasyon, No: 41, 66–69
- Özkan, A., 2008. Kentsel katı atık yönetim sistemlerinin oluşturulmasında farklı karar verme tekniklerinin kullanımı, Doktora Tezi, AÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Öztürk, M., 2003. Alüminyumun geri kazanılması, Çevre Mühendisliği bölümü, YTÜ.

- Rajendran, S., Scelsi, L., Hodzic, A., Soutis, C., Maadeed, M.A., 2011. Environmental impact assessment of composites containing recycled plastics, Resources, Conservation and Recycling, Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield.
- Ross, S., Evans D., 2002. Use of life cycle assessment in environmental management, Springer—Verlag New York Inc., Vol. 29, No. 1, pp. 132–142, Australia.
- Schmidt, K., Christensen, F.M., Juul, L., Qllgaard, H. and Nielsen, C.B., 2002. Manual on Product-Oriented Environmental Work, Environmental News, **64**, Danish Environmental Protection Agency, Denmark.
- Sert, S., 2010. Bina yaşam döngüsünde enerji analizi ve yeşil binalar, Yüksek Lisans Tezi, EÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Simoës, C.L., Pinto, C.M.L., Bernardo, C.A., 2012. Modelling the environmental performance of composite products: benchmark with traditional materials, Materials and Design, 4710–057, Portugal.
- Sucu, A., 2006. Ürün yaşam döngüsü analizi ve çevre etkileri göz önüne alınarak teknik ürün sistemlerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Süleyiman, S., 2012. Cam fiber takviyeli kompozit imalatı, Yıl İçi Bitirme Projesi, BÜ., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman.
- Sünbül, E.A., 2006. Otomotiv endüstrisi'nde geri dönüşüm—ürün yaşam döngü değerlendirmesi (LCA), Yüksek Lisans Tezi, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Taygun, G., 2005. Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi, Doktora Tezi, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tharumarajah, A., Koltun, P., 2006. Is there an environmental advantage of using magnesium components for light—weighting cars?, Journal of Cleaner Production, 15, 1007–1013, Australia.
- Tharumarajah, A., Koltun, P., 2010. Improving environmental performance of magnesium instrument panels, Resources, Conservation and Recycling, Australia.
- Vigon, B.W., Tolle, D.A., Cornaby, B.W., Latham, H.C., Harrison, C.L., Boguski, T.L., Hunt, R.G., Sellers, J.D. ve USEPA Risk Reduction Engineering Laboratory, 1994. Life —cycle assessment inventory guidelines and principles, Lewis Publishers, USA.
- Witik, R.A., Payet, J., Michaud, V., Ludwig, C., Manson, J.A.E., 2011. Assessing the life cycle costs and environmental performance of lightweight materials in automobile applications, Composites: Part A, Switzerland.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Yasemin CEYLAN ÖZTÜRK  
**Doğum Yılı** : 02.09.1984

### **Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)**

**Lisans** : Selçuk Üniversitesi, 2004-2009  
**Yüksek Lisans** : Aksaray Üniversitesi, 2010-2013

### **İletişim Bilgileri**

**Adres** : Esentepe mah. Ada:3 B-19 No:18 Kalıcı Konutlar  
DÜZCE/Merkez  
**Telefon** : 05072067129  
**E-posta** : yasemin\_ceylan\_84@hotmail.com