

**ATIK YÖNETİMİ PLANLAMASINDA
YASAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ**

Zerrin ÇOKAYGIL
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Agustos - 2005

**"Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 040205"**

JÜRI VE ENSTITÜ ONAYI

Zerrin Çokaygil'in Atık Yönetimi Planlamasında Yasam Döngüsü Analizi başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 10 Ağustos 2005 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adi-Soyadi	İmza
Üye (Tez Danismanı)	: Yard.Doç.Dr. Müfide BANAR
Üye	: Prof. Dr. Serap KARA
Üye	: Yard.Doç.Dr. Özlem ONAY

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK YÖNETİMİ PLANLAMASINDA YASAM DÖNGÜSÜ ANALIZI

ZERRİN ÇOKAYGIL

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danisman: Yard.Doç.Dr.Müfide BANAR
2005, 147 sayfa

Bu çalışmada, gıda sektöründe, meyve suyu ambalajı olarak kullanılan cam sise ve bariyer katmanlı karton kutu olmak üzere iki farklı ambalaj tipi ile peynir ambalajı olarak kullanılan tamamen plastik (PP), teneke-plastik (PE) ve karton-plastik (PA/PE) olmak üzere üç farklı ambalaj tipinin yaşam döngüsü analizleri yapılmıştır. Meyve suyu ambalajlarında gerçek geri dönüşüm oranlarını içeren atık senaryoları kurulmuş, bu senaryoları kapsayan yaşam döngüsü karşılaştırmaları yapılmış ve çevreye daha az etkili olanın belirlenmesi amaçlanmıştır. Peynir ambalajlarında ise farklı oranlarda farklı atık senaryoları oluşturulmuş, önce ambalajların kendi içlerinde yapılan bir karşılaştırmayla en iyi atık senaryosu belirlenmiş, daha sonra en iyi atık senaryolu üç ambalaj türü karşılaştırılmıştır. Bu üçlü karşılaştırmadan elde edilen sonuçlardan en iyi iki tip belirlenmiş ve en son yapılan ikili karşılaştırmayla en iyi atık senaryosuna sahip en iyi ambalaj tipi belirlenmiştir. Sistemdeki envanter analizleri, atık senaryoları, değerlendirme ve karşılaştırma işlemleri, ISO 14040 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Standardi'ne uygun olarak üretilmiş olan SimaPro 6.0.4 adlı bir yazılımla gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yaşam döngüsü değerlendirme/analizi (LCA), ambalaj,
SimaPro 6.0.4, gıda ambalajları, ISO 14040

ABSTRACT**Master of Science Thesis****LIFE CYCLE ANALYSIS
ON
WASTE MANAGEMENT PLANNING****ZERRIN ÇOKAYGIL****Anadolu University
Graduate School of Sciences
Environmental Engineering Program****Supervisor: Assist. Prof. Dr. Müfide BANAR
2005, 147 pages**

In this thesis, two different juice packaging types consists of glass bottle and liquid packaging carton and three different cheese packaging types consists of completely plastic (PP), tin-plastic (PE) and carton-plastic (PA/PE) used for food packaging is evaluated from Life Cycle Analysis criteria. For juice packaging, waste scenarios constituted through real recycling rates are formed, life cycle comparisons are done include these scenarios and determination of the type that has lower environmental load is aimed. For cheese packaging, different waste scenarios include different rates are constituted then the best waste scenario is determined inside of the individual packaging and three package types with best waste scenarios are compared, respectively. The best two package types are determined through trio comparison and the best of the three packaging type which has best waste scenario is determined through binary comparison. Inventory analysis, waste scenarios, assessment and comparing operations in the system are done by using software entitled with SimaPro 6.0.4. which is developed as appropriate with ISO 14040 Life Cycle Assessment Standard.

Keywords: Life cycle analysis/assessment (LCA), packaging, SimaPro 6.0.4, food packages, ISO 14040

TESEKKÜR

Bu tez çalışmasında olduğu gibi diğer çalışmalarım da benden desteğini, bilgisini ve hoşgörüsünü esirgemeyen, hem bilimsel hem de kişisel anlamda bana çok şey katan değerli danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Müfide BANAR'a;

Çevre Mühendisliği Bölümü'nün her türlü imkanlarından yararlanmami sağlayan ve çalışmalarım da destek olan Bölüm Başkanımız Sn. Prof. Dr. Serap KARA'ya;

Çalışmamın veri toplama aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen Sn. Ferid EKMEKÇIOĞLU'na (Tetra Pak A.S. Çevre Müdürü), Sn. Erkan MANKAN'a (ANAMED), değerli yayınlarını bizimle paylaşan Ambalaj Sanayicileri Derneği'ne ve iletişime geçtiğim diğer ambalaj firmalarına;

Uygulama yaptığım yazılımla ilgili her soruma büyük bir ilgi ve sabırla cevap veren Michiel Oele'ye (PRè Consultants, Hollanda); Çalışmam sırasında gerek teknik gerekse manevi destekleriyle yanımda olan sevgili arkadaşlarım Aras. Gör. Özlem ÖZDEN, Aras. Gör. Aysun ÖZKAN, Aras. Gör. Filiz Bayrakci KAREL ve ulaşım desteğiyle esi Serhan KAREL, Aras. Gör. Serdar GÖNCÜ ve Aras. Gör. Barbaros Murat KÖSE'ye;

Hayatimin her anında yanımda oldukları, beni destekledikleri, bana güvendikleri, gösterdikleri büyük sevgi ve anlayışları için annem Azize ÇOKAYGIL, babam Ali İhsan ÇOKAYGIL ve canım kardeşim Levent ÇOKAYGIL'e

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Zerrin ÇOKAYGIL

Agustos 2005

İÇİNDEKILER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TESEKKÜR	iii
İÇİNDEKILER	iv
SEKILLER DIZINI	ix
ÇİZELGELER DIZINI	xi
SIMGELER VE KISALTMALAR DIZINI	xii
1. GIRIS	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi	2
2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE AMBALAJ ATIKLARI YÖNETİMİ	4
2.1. Avrupa Birliği'nde Ambalaj Atıkları Yönetimi.....	5
2.2. Türkiye'de Ambalaj Atıkları Yönetimi	8
2.3. Sürdürülebilir Ambalaj Atıkları Yönetimi	12
3. GIDA AMBALAJLARI	14
3.1. Gıda Ambalajları ve Kullanım Alanları.....	14
3.1.1. Plastik ambalajlar ve ambalajlamada kullanılan polimerler ...	16
3.1.1.1. Polietilen (PE)	17
3.1.1.2. Polipropilen (PP)	19
3.1.1.3. Polietilen tereftalat (Termoplastik Poliester, PET)	20
3.1.1.4. Polistiren (PS)	20
3.1.1.5. Polivinil klorür (PVC).....	21
3.1.1.6. Poliamidler (PA)	23
3.1.2. Cam ambalajlar	23
3.1.3. Kağıt ve karton ambalajlar	24
3.1.3.1. Kağıt ambalajlar	24
3.1.3.2. Karton ambalajlar	25

3.1.4. Kompozit ambalajlar	27
3.1.5. Metal ambalajlar	30
3.1.5.1. Teneke ambalajlar	30
3.1.5.2. Alüminyum ambalajlar	32
4. YASAM DÖNGÜSÜ ANALIZI (LCA).....	34
4.1. LCA Nedir?.....	35
4.2. LCA'nin Tarihçesi.....	37
4.3. LCA Türleri.....	39
4.3.1. Kavramsal LCA	40
4.3.2. Basitleştirilmiş LCA	41
4.4. Kullanım Alanları ve Uygulamalar.....	42
4.4.1. Özel sektör uygulamaları	45
4.4.1.1. Ürün geliştirme	45
4.4.1.2. Pazarlama ve reklam	46
4.4.1.3. Stratejik planlama	47
4.4.1.4. Proses seçimi ve modifikasyonu	48
4.4.2. Kamusal Uygulamalar	50
4.4.2.1. Kamusal uygulamalarda çevresel etiketleme	50
4.4.2.2. Diğer kamusal uygulamalar	50
4.4.3. Kullanım Sınırlamaları.....	52
4.5. Sistemin Standardizasyonu ve Yapısı	53
4.5.1. Hedef ve kapsamın belirlenmesi	53
4.5.1.1. Hedef.....	53
4.5.1.2. Kapsam.....	54
4.5.1.3. Fonksiyonel birim	54
4.5.1.4. Sistem sınırları.....	55
4.5.1.5. Veri kalitesi	56
4.5.1.6. Kritik gözden geçirme	58
4.5.2. Envanter analizi	58
4.5.2.1. Veri toplama	59
4.5.2.2. Sistem sınırlarının kesinleştirilmesi	60

4.5.2.3. Hesaplama prosedürleri.....	60
4.5.2.4. Verinin doğrulanması/geçerliliği.....	60
4.5.2.5. Verilerin fonksiyonel birimle ilişkilendirilmesi.....	61
4.5.2.6. Paylaştırma ve geri dönüşüm	61
4.5.3. Etki değerlendirme	62
4.5.3.1. Kategori tanımı.....	63
4.5.3.2. Sınıflandırma	64
4.5.3.3. Karakterizasyon.....	64
4.5.3.4. Ağırlıklı değerlendirme	65
4.5.4. Yorum.....	65
5. YASAM DÖNGÜSÜ ANALİZİYLE İLGİLİ UYGULAMALAR	69
5.1. Konuyla İlgili Literatürde Yer Alan Çalışmalar	69
5.2. Kavramsal Açıdan LCA'yla İlgili Uygulamalar	75
6. MATERYAL VE YÖNTEM	78
6.1. Çalışmada Kullanılan SimaPro 6.0.4. Yazılımı	79
6.2. Meyve Suyu Ambalajlaması ve Kullanılan Ambalaj Türleri	85
6.3. Meyve Suyu Ambalajları ve LCA Uygulaması	86
6.3.1. Hedef ve kapsam tanımı	86
6.3.1.1. Hedef.....	86
6.3.1.2. Kapsam.....	88
6.3.2. Envanter analizi	90
6.3.2.1. Veri toplama	90
6.3.2.2. Varsayımlar	91
6.3.2.3. Hesaplama prosedürü	92
6.3.3. Etki analizi.....	92
6.3.4. Yorum.....	93
6.4. Peynir Ambalajlaması ve Kullanılan Ambalaj Türleri.....	93
6.5. Peynir Ambalajları ve LCA Uygulaması	94
6.5.1. Hedef ve kapsam tanımı	95
6.5.1.1. Hedef.....	95

6.5.1.2. Kapsam.....	96
6.5.2. Envanter analizi	98
6.5.2.1. B1'e ait toplanan veriler	98
6.5.2.2. B2'ye ait toplanan veriler ve varsayımlar	100
6.5.2.3. B3'e ait toplanan veriler ve varsayımlar	100
6.5.2.4. Genel varsayımlar	101
6.5.2.5. Atik senaryolari.....	102
6.5.2.6. Hesaplama prosedürü.....	103
6.5.3. Etki analizi.....	103
6.5.4. Yorum.....	104
7. BULGULAR	105
7.1. Meyve Suyu Ambalajlarının LCA Sonuçları ve Sonuçların Değerlendirilmesi.....	105
7.1.1. A1 (Cam Sise)'in yaşam döngüsü analizi	105
7.1.2. A2 (Bariyer Katmanlı Karton Kutu)'nin yaşam döngüsü analizi.....	106
7.1.3. A1 ve A2'nin yaşam döngüsü analizlerinin karşılaştırılması	110
7.2. Peynir Ambalajlarının LCA Sonuçları ve Sonuçların Değerlendirilmesi.....	112
7.2.1. B1 (plastik kutu-plastik kapak PP)'in atik senaryoları açısından yaşam döngüsü analizi	112
7.2.2. B2 (teneke kutu-plastik kapak PE)'nin atik senaryoları açısından yaşam döngüsü analizi	115
7.2.3. B3 (karton kutu-plastik iç poset PE/PA)'ün atik senaryoları açısından yaşam döngüsü analizi	117
7.2.4. En iyi atik senaryolu üç ambalaj türünün karşılaştırılması ..	119
7.2.5. En iyi atik senaryolu iki ambalaj türünün karşılaştırılması ..	121
8. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR.....	124

EKLER 128

EK-1	Avrupa Birliği “Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi” (2004/12/EC) ambalaj sayılan ve sayılmayan malzemelerin listesi.....	128
EK-2	Veri Değerlendirme Formu	129
EK-3	Toplam Kütle Denkliği Seklinde Sistemin İşleyiş Mekanizması	132
EK-4	Meyve Suyu Ambalajlaması LCA Veri Tabanı (SimaPro 6.0.4).....	133
EK-5	Peynir Ambalajlaması LCA Veri Tabanı (SimaPro 6.0.4).....	140

SEKILLER DIZINI

Sayfa

2.1.	Malzeme bazında ambalaj pazarı.....	5
3.1.	Çalay kaplı teneke kesiti	30
4.1.	Yasam döngüsü değerlendirmesi genel yapısı	35
4.2.	LCA'nin asamaları ve sınırları.....	36
4.3.	LCA'nin uygulama alanlarına göre kullanım sıklığı.....	37
4.4.	Tasarım asamasının fonksiyonları olarak tasarım seçenekleri ve LCA çözümleri.....	40
4.5.	LCA'nin uygulama alanları	43
4.6.	Çevresel performans ve pazarlama potansiyeline bağli ana ürün stratejileri.....	49
4.7.	IBM tarafından üretilen PVC monitörler için üç farklı bertaraf senaryosu.....	51
6.1.	SimaPro 6.0.4 yazılımının yapısı	80
6.2.	Eco-indicator 99 kullanılarak yapılan bir analizin yapısı.....	81
6.3.	Karşılaştırma üçgeni	82
6.4.	Meyve suyu ambalajları LCA akım şeması	87
6.5.	1L'lik meyve suyu ambalajları	88
6.6.	Meyve suyu ambalajlarında kullanılan cam sise ve bariyer katmanlı karton kutunun yasam döngüleri	89
6.7.	1 Kg'lık peynir ambalajları	96
6.8.	Peynir ambalajlarının yasam döngüsü analizinde uygulanan asamalar 97	
6.9.	Peynir ambalajlamasında kullanılan ambalaj türlerinin yasam döngüleri	99
7.1.	A1 (Cam sise)'nin LCA sonuçları.....	107
7.2.	A2 (Bariyer katmanlı karton kutu)'nin LCA sonuçları.....	109
7.3.	A1 ve A2'nin LCA sonuçlarını karşılaştırılması.....	111
7.4.	B1 (plastik kutu-plastik kapak PP) senaryolarının LCA karşılaştırılması.....	113

7.5. B2 (teneke kutu-plastik kapak PE) senaryolarinin LCA karsilastirmasi.....	115
7.6. B3 (karton kutu-plastik iç poset PE/PA) senaryolarinin LCA karsilastirmasi.....	117
7.7. B1, B2 ve B3'ün en iyi senaryolarinin LCA karsilastirmasi.....	120
7.8. En iyi iki senaryonun LCA karsilastirmasi	121

ÇİZELGELER DIZINI

	<u>Sayfa</u>
2.1. Avrupa Birliği'ne üye ülkelerdeki ambalaj ve ambalaj atıkları yönetimi.....	9
4.1. ISO 14040 Çevre Yönetimi – LCA Serisi.....	38
4.2. LCA'nin bazı uygulamalarındaki detay seviyesi	39
6.1. Bazı peynir çeşitlerine uygun ambalaj malzemeleri	94
6.2. B1'in atık senaryoları.....	102
6.3. B2'nin atık senaryoları.....	102
6.4. B3'ün atık senaryoları.....	102

SIMGELER ve KISALTMALAR DIZINI

AAKY	: Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABS	: Akrilonitril – Butadien – Stiren
Al	: Alüminyum
AHP	: Analitik Hiyerarsi Prosesi
BOPA	: Çift Yönlü Gerdirilmiş Film
Bq	: Bequerel (radyoaktivite birimi)
CFC	: Kloro florokarbon gazları
CRP	: Kavramca İlgili Programlar (Conceptually Related Programmes)
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
ÇEVKO	: Çevre Koruma Vakfı
Cu	: Bakır
CO ₂	: Karbon dioksit
DALY	: Disability Adjusted Life Years
DW	: Disability Weight
EC	: Avrupa Konseyi (European Council)
EEA	: Avrupa Çevre Ajansı
EEV	: Somut Çevresel Değer (Embodied Environmental Value)
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
EPS	: Polistiren köpüğü (expandiertes PS)
EPS	: Çevresel Öncelik Sistemi (Environmental Priority System)
Fe	: Demir
FFCA	: Tam Yakıt Döngüsü Analizi (Full Fuel Cycle Assessments)
HCFC	: Hidrokloroflorokarbonlar
HFC	: Hidroflorokarbonlar
HCl	: Hidro klorik asit
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen (High Density Polyethylene)
HMPE	: Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen (High Molecular PE)
IBC	: Intermediate Bulk Container

ISO	: Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
KAKY	: Kati Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
L	: Yeteresizlik süresi (Disablity Length)
LCA	: Yasam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assessment)
LCC	: Yasam Döngüsü Maliyeti (Life Cycle Cost)
LCCA	: Yasam Döngüsü Maliyet Analizi (Life Cycle Cost Analysis)
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen (Low Density Polyethylene)
LLDPE	: Lineer Alçak Yoğunluklu Polietilen (Lineer Low Density Polyethylene)
LPG	: Sivilastirilmiş Petrol Gazı
MDPE	: Orta Yoğunluklu Polietilen (Middle Density Polyethylene)
MG	: Makinada perdahlanmış
MJ	: Mega Joule (enerji birimi)
µm	: Mikro metre (ölçü birimi)
NO _x	: Azot oksitler
NOEC	: Olumsuz etkinin görülmediği konsantrasyon (No-Observed Effectuated Concentration)
PA	: Poliamid
PAF	: Potansiyel olarak etkilenmiş kısım (Potentially Affected Fraction)
PAH	: Poliaromatik hidrokarbon
PAN	: Poliakrilonitril
PC	: Polikarbon
PC	: Kisisel bilgisayar
PDF	: Potansiyel olarak kaybolan kısım (Potentially Disappeared Fraction)
PE	: Polietilen
PET	: Polietilentereftalat
POO	: Görülme yüzdesi (Probability of Occurance)
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVAL	: Polivinil alkol
PVC	: Polivinil klorür

PVDC	: Poliviniliden klorür
Pt	: Puan (point, Eco-indicator 99 birimi)
QFD	: Kalite Fonksiyon Açılımı (Quality Function Deployment)
RA	: Risk Analizi
REPA	: Kaynak ve Çevresel Profil Analizleri (Resource and Environmental Profile Analysis)
SAN	: Stiren – Akrilonitril
SETAC	: Çevresel Toksikoloji ve Kimya Birliği (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)
Si	: Silisyum
SO ₂	: Kükürt dioksit
Ti	: Titanyum
TCA	: Toplam Maliyet Analizi (Total Cost Assessment)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UHT	: Çok Yüksek Isı (Ultra High Temperature)
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VCM	: Vinil Klorür Monomeri
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organisation)
YOLL	: Years of Life Lost
YLD	: Years of Disability
Zn	: Çinko

1.GIRIS

Insanoglu beslenme, barinma, giyinme gibi yasamsal ihtiyaclarini karsilarken, doganin kendisine sundugu kaynaklardan yararlanir. Bu kaynaklar, doganin kendi dengesi ve sartlari çerçevesinde yenilenebilirken, asiri ve bilinçsiz kullanım bu dengeyi bozar ve sonuçta hem insanlar hem de doga açısından geri dönüşü zor hatta imkansiz durumlar ortaya çıkar. Bu nedenle mevcut dogal kaynaklarin nüfus artisina paralel sekilde etkin ve verimli kullanilabilirliklerinin saglanması gereklidir.

20. yy'da insanoglu tarafından büyük asamalar kaydedilmiş fakat, hava, su, toprak ve yer alti zenginlikleri gibi dogal kaynaklarin bilinçsiz kullanimlari sonucunda, küresel ısınma, sera etkisi, ozon tabakasının incilmesi, asit yağmurlarının oluşması, çölleşme ve toprak erozyonu gibi pek çok sorun daha da belirgin hale gelmiştir. Bu etkilere bağli olarak “sürdürülebilirlik” kavrami daha da önemli bir hale gelmiştir (Sonnemann ve ark. 2004).

Sürdürülebilir gelişim yeni bir kavram değildir, çevreyle insan ilişkilerini ve simdiki neslin gelecek kusaklara sorumlulugunu kapsayan eski bir etigin en son halidir. Gerçek bir sürdürülebilirlik için ekonomi, çevre ve toplumu kapsayan “üçlü sacayagi” yaklaşımının uygulanması zorunludur. Zira toplumlar yalnızca kısa süreli gereksinimleri değil uzun süreli gereksinimlerini de düşünmek zorundadır. Sürdürülebilir gelişim için, ekonomik verimlilik artırılmalı, ekolojik sistemler korunmalı ve tüm insanların refahi artırılmalıdır.

Dogal kaynaklarin bir gün tükenebilecegini, kaynaklari kullanirken gelecek kusaklari düşünmek gerektiğini dikkate alan, küresel düşünüp yerel önlemlerini zamanında alan toplumlar çevre bilincine sahip toplumlardır. Aksi takdirde çevre bilincinin oluşmadığı toplumların kaynaklari daha hızlı tükenmeye ve yasadıkları ortam daha sağlıksız hale gelmeye mahkumdur. Bu sadece yaşanan ortamda değil, dünyadaki diğer toplumlar açısından da risk oluşturuur. Çünkü çevre kirliliginin sınırlari yoktur ve insanların yaşamak için ortak kullandıkları hava, su ve topraktaki kirlilik, sınır tanımaksızın tüm dünyaya yayılabilir.

Sürdürülebilirlik, bir yaşam döngüsü yaklaşımını gerektirir. Yaşam döngüsü düşüncesinin mantığı, çevre mühendisliğinin üretim sonu faaliyetlerine olan geleneksel odaklanmayı, çevresel açıdan üretim, tüketim, kullanım ve atık aşamalarını içeren zincirin tüm aşamalarına doğru genişletmektir. Bu, holistik (bütünsel) ve analitik bir sistem anlamına gelmekte olup, ürünün yaşamı boyunca olan farklı paydaşları arasındaki işbirliğini zorunlu kılar (Sonnemann ve ark. 2004).

Ülkemiz için oldukça yeni bir teknik olan LCA, çevre yönetim sistemleriyle bağlantılı olarak, bir ürünün/prosesin tüm etkilerinin değerlendirilmesinde oldukça yararlı bir araçtır. Avrupa Birliği uyum sürecinde bu araçtan olabildiğince yararlanmak, gelecekte endüstri kuruluşları için son derece önemli açılımlara fırsat doğuracaktır.

Ayrıca, LCA tekniğinin çevre mühendisliği disiplindeki en önemli uygulama sahalarından birisi atık yönetim politikalarının belirlenmesidir. Çünkü Avrupa Birliği direktifleri içerisinde üye ülkelerin atık depolama alanlarına gönderecekleri atık miktarlarını belli oranlarda en aza indirmeleri istenmekte, “Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi 2004/12/EC” nde 31 Aralık 2008 tarihine kadar, üye ülkelerdeki geri kazanım hedeflerinin % 60, geri dönüşüm hedeflerinin % 50, malzeme bazındaki hedeflerin ise cam ve kâğıt-karton için en az % 60, metal için en az % 50, plastikler için % 22,5, ahşap için % 15 olması öngörülmekte ancak uyulması bazı ülkeler için oldukça zor olan bu hedeflerin tarihi konusunda esneklikler sağlanmaktadır ([http-1](http://1)).

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Sürdürülebilirlik kavramı içerisinde, evsel atıklar içinde % 12 gibi oldukça önemli bir orana sahip olan ambalaj atıkları ekonomik değerleri, yeniden değerlendirilebilir olmaları ve depolama sahalarında hacimsel olarak kapladıkları alan açısından yaşam döngüleri dikkatle takip edilmeleri gereken bir gruptur.

Bu nedenle bu çalışmada, sivi ve kati gıda ambalajlarına örnek olarak seçilen meyve suyu (cam sise ve bariyer katmanlı karton kutu) ve peynir (plastik, teneke - plastik ve karton – plastik) ambalajlarının, hammadde eldesinden

kullanılan enerjiye, üretimden tüketime ve atık yönetim senaryolarına kadar olan yaşam döngülerinin, SimaPro 6.0.4 (Pre Consultants, Hollanda) adlı lisanslı bir yazılımla değerlendirilmeleri ve LCA açısından en uygun ambalajların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda tamamen TSE EN ISO 14040 Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme (TSE EN ISO 14041, TSE EN ISO 14042, TSE EN ISO 14043) serisine uygunluk dikkate alınmıştır.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE AMBALAJ ATIKLARI YÖNETİMİ

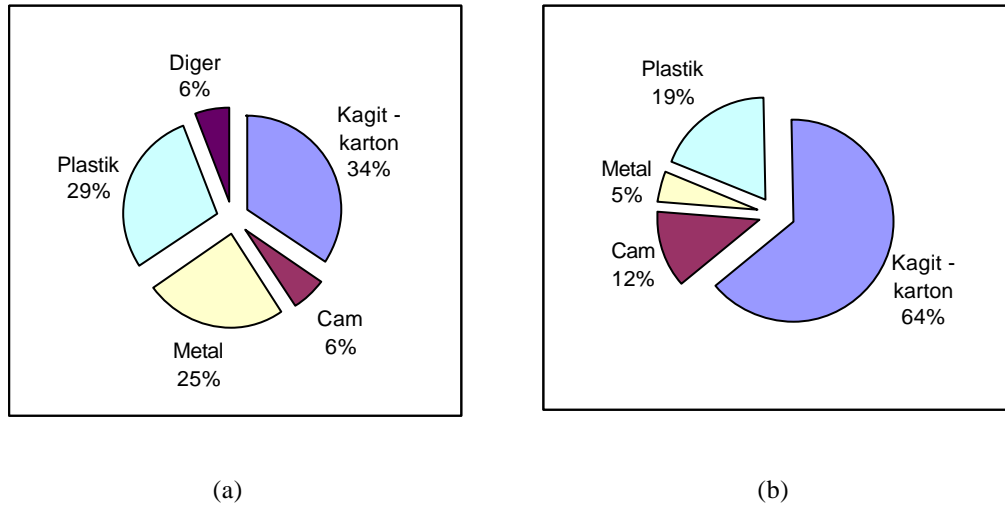
Küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi, doğal kaynakların tükenmesi, biyolojik çeşitliliğin azalması gibi çevre sorunları, gittikçe artan bir hızla Dünyayı tehdit etmektedir. Bütün bu çevre sorunlarının temelinde ise ekonomi ve çevresel etkinlik kriterleri arasındaki dengesizlik yatmaktadır. Bu dengesizliğin çözümü ancak sürdürülebilir kalkınma yaklaşımının benimsenmesiyle mümkün olabilecektir. Bu alandaki uluslararası işbirliğinin en önemli örneği 1972 Stockholm “Sürdürülebilir Kalkınma” Zirvesi’dir. Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nun 1987 yılında yayınladığı “Ortak Geleceğimiz Raporu”nda, sürdürülebilir kalkınma kavramı “bugünkü kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılarken, gelecek kuşakların ihtiyaçlarını tehlikeye sokmaksızın kalkınma” olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma, sadece çevre korumanın ön plana çıktığı bir kalkınma anlayışını ifade etmemekte, kalkınmaya ilişkin bütün (ekonomik, ticari, tarımsal ve endüstriyel) politikaları, büyümeyi, ekonomik, sosyal ve çevresel açılardan sürdürülebilir kılmak amacıyla uyumlu hale getirmektedir. Sürdürülebilir sözcüğü ilk bakışta kalkınmayı nitelendirir gibi görünse de kaynakların, ekosistemlerin ve hatta kültürlerin sürdürülebilirliği kastedilmektedir. Dolayısıyla sadece ekonomik anlamda kalkınma değil, sürdürülebilir toplumsal gelişme hedeflenmektedir.

Sürdürülebilir kalkınmanın üzerinde fikir birliğine varılmış kesin bir tanımının bulunmaması, sürdürülebilir kalkınmanın nasıl ölçüleceği ve soyuttan somuta yani, teoriden uygulamaya nasıl aktarılacağı konusunu gündeme getirmektedir. Bu alanda geliştirilen “Sürdürülebilir Kalkınma Göstergeleri”, sürdürülebilirlik konusunda ne kadar ilerleme kaydedildiğini, hedeflere ne ölçüde ulaşıldığını, ülkeler düzeyinde ölçmeye çalışan göstergelerdir. Bu göstergeler çevresel, ekonomik ve sosyal yönlerden sürdürülebilir gelişmeyi sağlama yolunda, karar alma sürecine yardımcı olan önemli araçlardır (Nemli 2003). Bu göstergelere örnek olarak gayri safi milli hasıla, çalışmakta olan insanların yaş profilleri, cinayet sayısı, yaşanabilir ev sayısı, beklenen sağlıklı yaşam yaşı, sera gazı emisyonları, hava kirliliğinin yüksek olduğu günler, şehir trafiği, kirlenmemiş nehirler, vahşi kus sayısı, atık oluşumu ve yönetimi, kaynak

kullanımı, hane başına enerji tüketimi, evsel atık oluşumu ve geri dönüşümü, tehlikeli atık, sektörler göre atık oluşumu verilebilir (http-2).

Sürdürülebilirlik temelinde doğal kaynakların bilinçli kullanılması ve tüketilmesi açısından, çalışmanın özünü oluşturan ambalajlar ve ambalaj atıkları ise ayrı bir önem arz etmektedir. Dolayısıyla ulusal ve uluslararası boyutta, ambalajlar ile atıklarının yönetimi, LCA sistemi içinde değerlendirilmelidir.

Ulusal ve uluslararası boyutta ambalaj atıkları yönetimine geçmeden önce, ambalaj üretiminin karşılaştırmasını yapmak ve konuya kapsamlı bir bakış açısı getirmek üzere Şekil 2.1 (a)'da Dünya genelinde, (b)'de ise Türkiye'deki ambalaj pazarında kullanılan malzemeler verilmiştir. Dünya genelinde, ambalaj malzemesi endüstrisinin yılda 475 milyar dolar satış yaptığı tahmin edilmekte, bu pazarın %30'unu endüstriyel ambalaj uygulamaları, %70'ini ise tüketici ambalajları oluşturmaktadır (James 2003).



Şekil 2.1. Malzeme bazında ambalaj pazarı. (a) Dünya geneli (James 2003) ve (b) Türkiye (ÇEVKO)

2.1. Avrupa Birliği'nde Ambalaj Atıkları Yönetimi

Avrupa'da geri dönüşümle ilgili 15 Aralık 1994 tarihli 94/62/EC no'lu "Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi", 11 Şubat 2004 tarihinde güncellenerek 18 Şubat 2004 (2004/12/EC) tarihinde yürürlüğe girmiştir (http-1).

Direktifin amacı, ambalaj ve ambalaj atıklarının yönetimi konusunda üye ülkelerdeki farklı uygulamaları harmonize ederek çevrenin korunmasını ve üye ülkeler arasında ortak standartlar uygulayarak Avrupa pazarında ürünlerin serbest dolaşımını sağlayabilmektir. Direktif, “ambalaj” tanımına bir açıklık getirmekte, ambalajları üç sınıfa ayırmakta ve direktif ekinde buna örnekler verilmektedir. Direktife göre ambalaj; ürünün bir parçası değilse fakat ürünü koruyor, destekliyor ve içeriyorsa birinci sınıfa (i), satış noktasında dolduruluyor ya da kullan-at kullanımına uyuyorsa ikinci sınıfa (ii), ambalaj bileşenleri veya ürüne asili veya tutturulmuş ise üçüncü sınıfa (iii) girmektedir. Örneğin; poşet çaylar ambalaj olmayan materyal, kompakt disk kutularının etrafındaki filmler ve bir ürüne veya ambalaja asili olan etiketler ise ambalaj materyali olarak sayılmaktadır. Direktifte yer alan ambalaj sayılan ve sayılmayan malzemelerin listesi EK-1’de verilmiştir (http-1).

Direktif;

- Ambalaj atıkları üretiminin azaltılması, işlahi, yeniden işleme tabi tutulması ve tekrar kazanılmalarını sağlamak için alınacak tedbirleri gösterir.
- Tüm ambalajları içerir.
- Üye devletler, kullanılan ambalajların ve ambalaj atıklarının, tüketiciden veya son kullanıcıdan iadesi (depozito), atık bölgesinden toplanması ve bunların yeniden işleme tabi tutulması ve işlahi için gerekli sistemleri kuracaklardır.
- Ambalajların üzerlerine yapıldıkları malzemenin türü işaretlenecektir.
- Ambalajlama en az hacimde ve ağırlıkta olacak, yeniden kullanma ve geri dönüşüm için uygun malzemedan üretilecektir.
- Üye devletlerin ulusal standartları, bu direktif hükümlerine uymadığı takdirde, Komisyon tarafından ulusal standartların durdurulması istenebilecektir .
- Üye devletler, ambalajlama ve ambalaj atıklarına dair veri tabanlarını, topluluk kriterlerine göre uyumlaştıracaklardır.

- Üye devletler, ayrıntılı veri tabanını hazırlarken, küçük ve orta büyüklükteki işletmelere ait özel problemleri dikkate alacaklar, ayrıca Komisyon'a verdikleri raporlarda, güncel hale getirdikleri veri tabanını bildireceklerdir.

94/62/EC no'lu direktif, 30 Haziran 2001 itibariyle tüm üye ülkelerde ambalaj atıklarının %50-65 oranında geri kazanımını ve %25-45 oranında geri dönüşümünü hedeflerken, 2004/12/EC no'lu direktif, 31 Aralık 2008 tarihine kadar gerçekleştirilmesi gereken aşağıda verilmiş yeni hedefleri ve yeni tanımları içermektedir (http-1).

- Ambalaj atıklarının ağırlıkça en az %60'i geri kazanılacak veya enerji geri kazanımlı insinerasyon tesislerinde yakılacak,
- Ambalaj atıklarının ağırlıkça en az %55-80'i geri dönüştürülecek,
- Materyal bazında geri dönüşüm hedefleri; cam için % 60, kâğıt ve karton için % 60, metaller için % 50, plastikler için % 22,5 ve ahşap için de % 15 şeklinde olacaktır (http-1).

30 Haziran 2005 tarihine kadar Avrupa Komisyonu Direktif'in uygulanmasına ve kirlilik önleme ve yeniden kullanımın oranının artmasına yönelik seçeneklere dair bir rapor hazırlayacaktır. 31 Aralık 2007 tarihine kadar da Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, Komisyon'dan gelecek önerilere göre 2009-2014 yılları arası için yukarıda verilen hedefleri takip eden yeni hedeflere ve Yasam Döngüsü Değerlendirmesi ve Fayda-Maliyet Analizleri gibi bilimsel araştırma ve değerlendirme tekniklerinin sonuçlarına dayanan üçüncü 5 yıllık hedefleri belirleyecektir. Bu proses her beş yılda bir tekrarlanacaktır.

Yunanistan, İrlanda ve Portekiz gibi ülkelerin birçok küçük adadan oluşmaları, kırsal ve dağlık sahalara sahip olmaları ve ambalaj tüketimlerinin düşük olması nedeniyle diğer üye ülkeler için belirlenen 2008 yılı sonu yerine yukarıda belirtilen hedefleri 2011 yılına kadar gerçekleştirmeleri öngörülmektedir (http-1).

Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin kendi içlerindeki ambalaj ve ambalaj atıklarıyla ilgili yönetmelikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Aday ülkeler ise, Avrupa Birliği kanunları çerçevesinde “atik mevzuatının” bütününe uyum sağlamayı taahhüt etmiş bulunmadıklarından aday ülkeler ile Avrupa Komisyonu arasındaki “pazarlık”, uyum yasalarının takvimi üzerine odaklanmış durumdadır. Örneğin, Macaristan ve Çek Cumhuriyeti “Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi” nin ana hedeflerinin 2005 yılının sonuna kadar; Litvanya 2006, Polonya ve Slovenya ise 2007 yılının sonuna kadar uygulanması için anlaşma sağlamış durumdadır (http-1).

2.2.Türkiye’de Ambalaj Atıkları Yönetimi

Ülkemizde genel olarak kati atıkların yönetimiyle bağlantılı olarak bugüne değin yürürlükte olan mevzuat şu şekildedir:

- 442 Sayılı Köy Kanunu (18.03.1924)
- 1593 Sayılı Umumi Hifzisihha Kanunu (06.05.1930)
- 1580 Sayılı Belediye Kanunu (14.04.1930)
- 3030 Sayılı Büyükşehir Belediyelerinin Yönetimi Hakkında Kanun (09.07.1984)
- 2464 Sayılı Belediye Gelirleri Kanunu’nda Değişiklik Yapılması Hakkında 3914 Sayı ve 15.07.1993 tarihli Kanun
- 14.03.1991 tarihli Kati Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (KAKY)
- 30.07.2004 tarihli Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (AAKY)

Ambalaj atıkları, Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği çıkarılmadan önce, Kati Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nin “Ambalaj Atıklarının Geri Kazanılması” başlıklı üçüncü bölümünde ele alınmıştır. Fakat bu bölüm, 1.1.2005 tarihinde Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği’nin yürürlüğe girmesiyle yine aynı tarihten geçerli olmak üzere 5.4.2005 R.G. tarihli Yönetmelik ile yürürlükten kaldırılmıştır (Anonim-1).

Çizelge 2.1. Avrupa Birliği'ne üye ülkelerdeki ambalaj ve ambalaj atıkları yönetimi (Banar 2005)

Ülke	Yönetmelikler	Açıklama
Avusturya	Ambalaj Yönetmeliği 1992 ve 1996	Ambalaj sanayisi, atıkların toplama ve geri kazanım maliyetlerinin tamamını karşılamakla yükümlüdür.
Belçika	Bölgelerarası Ambalaj Yönetmeliği 1997, Yeşil Vergiler Kanunu 1993	Sanayi geri kazanım hedeflerine ulaşmak için ambalaj atıklarını toplama ve işleme maliyetlerini karşılar. Hedeflere ulaşılamazsa, toplanmayan atık miktarı oranında vergi öder.
Danimarka	Çevre Koruma Kanunu 1974, Bira ve Alkolsüz İçkiler Yönetmeliği 1991	Gönüllü anlaşmalar, tasima ile karton ve plastik ambalajları içerir. Sanayi, çevreye verilen zararı en aza indirme sorumluluğunu alır. Bu, yeniden doldurulabilir kaplar kullanmak ve diğerlerini geri kazanmak demektir. Alüminyum ya da çelik kutuların kullanılması kanunla yasaklanmıştır.
Finlandiya	Konsey Yönetmeliği 1997	Yönetmelik, atık maddelerin azaltılması, yeniden kullanım ve geri kazanım hedeflerini içerir. Yeniden kullanılmayacak içecek kapları vergiye tabidir.
Fransa	Evsel Ambalaj Atıkları Yönetmeliği 1992, Ticari ve Sanayi Ambalaj Atıkları Yönetmeliği 1994/5	Ambalaj sanayisi depozito sistemi kurmayı üstlenir ve bunun maliyetini karşılar. Hedef belirlemeksizin geri kazanım sorumluluğu sanayiye verilmiştir.
Almanya	Ambalaj Yönetmeliği 1991	Sanayi bütün ambalaj atıklarını toplamak, yeniden kullanmak ve geri kazanmakla yükümlüdür. Tasima ambalajı atıklarının toplama maliyeti bu ürünlere konan bir harç tarafından finanse edilir. Yönetmelik gereğince belirlenen geri kazanım hedefleri karşılanmazsa, sanayi ekstra bir vergi ödemek zorundadır.
İrlanda	Ambalaj Yönetmeliği 1997	Büyük çaplı ambalaj operatörleri ambalaj atıklarının tamamını toplamakla yükümlüdürler. Tasima ambalajı atıkları ise bunları kullanan tüketicilerin sorumluluğu altındadır.
İtalya	Ambalaj Yönetmeliği 1996	Ambalaj sanayi tüm ambalaj atıklarını toplamak ve bunun maliyetini karşılamakla yükümlüdür.
Hollanda	Ambalaj Yönetmeliği 1997	Ambalaj üreticileri, dolumcular ve ithalatçılar ambalaj atıklarını toplama hedeflerine ulaşmakla yükümlüdür.
Portekiz	Kanun Hükmünde Kararname 1998	Ambalaj üreticileri, dolumcular ve ithalatçılar ya toplama kampanyasına katılmaları ya da depozito sistemi kurmaları. Ticari ambalaj tüketicileri kendi atıklarını toplamakla yükümlüdürler. Toplama ve geri kazanım hedefleri kanunla belirlenmiştir.
İspanya	Kanun Hükmünde Kararname 1997	Ambalajcılar, dolumcu ve dağıtımcular depozito sistemi kurmakla yükümlüdürler. Ticari ambalaj tüketicileri kendi atıklarını toplamakla yükümlüdürler.
İsveç	Ambalaj Üreticileri Sorumluluk Yönetmeliği 1994 ve 1997	Ambalaj üreticileri atıkların toplama, yeniden kullanma ve geri kazanılmasından sorumludur.
İngiltere	Ambalaj Üreticileri Sorumluluk Yönetmeliği 1997	Ambalaj sanayi zinciri ulusal geri kazanım hedeflerinin kendi paylarına düşen kısmına ulaşmakla yükümlüdür.

Çizelge 2.1. (Devam) Avrupa Birliği'ne üye ülkelerdeki ambalaj ve ambalaj atıkları yönetimi

Ülke	Yönetmelikler	Açıklama
Lüksemburg	"Grand Ducal Ordinance" 1998	94/62/EC'ye uygun olarak çıkarılan bu yönetmelik, ambalajları piyasaya sürenlere, son tüketiciler için toplama noktaları kurma sorumluluğu getirmektedir (http-3).
Yunanistan	Ambalaj Ve Diğer Atık Ürünlerin Alternatif Yönetimleri İçin Ölçütler Ve Sartlar 2001	Bu yönetmelikle, 94/62/EC nolu direktif hükümleri Yunanistan ulusal yasalarına dahil edilmiştir(http-4).
Çek Cumhuriyeti	Atık Yönetmeliği 1997	94/62/EC nolu direktif hükümlerini öngörmektedir. Bu yönetmelige göre, ambalajı üreticileri, dolumcu firmalar ve ithalatçılar, ambalajın geri kazanım veya bertarafına dair bilgiyi ambalajın üzerinde veya ambalajla birlikte vermekle sorumludurlar (http-5).
Estonya	Ambalaj Yönetmeliği 1995	Ambalajın üretim ve tüketimine yönelik hükümler getirmekte, ambalaj atığı yönetimini ve ambalaj işaretlemelerini ele almaktadır (http-6).
GKRY		Güney Kıbrıs Rum Yönetimi standartları ve Kalite Kontrol Birliği son yıllarda özellikle de ambalaj atıkları yönetiminde Yasam Döngüsü Değerlendirmesi yöntemini üzerinde durmaktadır. (http-7).
Letonya	Ambalaj Yasası 2001	Ülkede ambalaj üretimini ve teknolojisini geliştirme, akılcı bir ambalaj atık yönetimi kurmak üzere oluşturulmuştur. Bu nedenle ambalajların istenmeyen çevresel etkilerinin azaltılması hedeflenmiş ve bu yönde hükümler verilmiştir (http-8).
Litvanya	Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Yönetimi Yasası 2001	İthalatçıları, dolumcuları ve üreticileri hedef alan bu yasal düzenlemeye göre üreticiler ürünlerinin atıklarının toplamalı, geri dönüşüm işlemlerini gerçekleştirmeli veya bunun için ücret ödemelidirler (http-9).
Macaristan	Atık Yönetmeliği 2000	Bu yönetmelikle, 94/62/EC nolu direktif hükümlerine göre ambalaj atıklarının toplanma ve geri kazanım uygulamalarının yapılması amaçlanmıştır (http-10).
Malta	Çevre Koruma Kanunu 2004	Ambalaj ve ambalaj atıkları yönetimine dair yönetmelikleri içermektedir (http-11).
Polonya	Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Yönetmeliği 2002	94/62/EC nolu direktif hükümlerini öngörmektedir (http-12).
Slovakya	Ambalaj Yönetmeliği 2002 (http-13)	
Slovenya	Ambalaj ve Ambalaj Atıklarına İlişkin Hükümler	Ambalajın üretimi, dağıtımı ve kullanımına, toplanmasına, yeniden kullanımına, işlenmesine ve bertarafına ilişkin hükümler verilmektedir (http-14).

Avrupa Birliği'ne uyum yasaları çerçevesinde uzun zaman üzerinde çalışılan Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Yönetmeliği ise 30 Temmuz 2004 tarih ve 25538 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmış ve 1 Ocak 2005'de yürürlüğe girmiştir.

Bu Yönetmeliğin amacı;

- a) Çevresel açıdan belirli kriter, temel koşul ve özelliklere sahip ambalajların üretimi,
- b) Ambalaj atıklarının çevreye zarar verecek şekilde doğrudan ve dolaylı bir şekilde alıcı ortama verilmesinin önlenmesi,
- c) Öncelikle ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi, önlenemeyen ambalaj atıklarının tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım yolu ile bertaraf edilecek miktarının azaltılması,
- d) Ambalaj atıklarının yönetiminde gerekli teknik ve idari standartların oluşturulması ve bununla ilgili prensip, politika ve programlar ile hukuki, idari ve teknik esasların belirlenmesidir (Anonim-2).

Yönetmelik, kullanılan malzemeye (plastik, metal, cam, kâğıt-karton, kompozit ve benzeri) ve kaynağına (evsel, endüstriyel, ticari, işyeri) bakılmaksızın ülke içinde piyasaya sürülen bütün ambalajları ve ambalaj atıklarını kapsar.

KAKY, ambalaj atıklarını sadece bir bölüm olarak işleyerek genel bir başlık olarak ele almış, geri kazanım oranlarını açıkça belirtmemiş dolayısıyla ambalaja dair hükümlerde oldukça yetersiz kalmıştır. Buna karşılık yeni çıkarılan AAKY'de, ambalaj atıklarına dair birçok konuya açıklık getirilmekte, ambalaja dair yeni tanımlamalar, ambalaj işaretleri ve numaralar bulunmakta, 2015 yılına kadar gerçekleştirilmesi gereken geri kazanım oranları verilmektedir. KAKY, ambalaj atıklarına yönelik olarak sadece kota ve depozito uygulamalarını içerirken, AAKY ambalaj üretimine dair hükümleri, ambalaj atıklarının geri dönüşümü ve geri kazanımını, ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanmasını, ambalaj atıkları geri kazanım tesislerine lisans ve ön lisans verilmesi gibi konularını da ele almaktadır.

2.3. Sürdürülebilir Ambalaj Atıkları Yönetimi

“Atık” hem kullanım ömürlerinin sonuna gelen ürünleri, hem de imalat, ticaret, üretim ve yok etme gibi diğer proseslerin yan ürünlerini içermektedir. Ürün yasamının sonunda gördüğümüz atık, buzdagının sadece uç kısmıdır. Bu noktada üretilen atık, gerçekte, ürünün yaşam döngüsü boyunca işlenmesi ve taşınmasında kullanılan materyallerin bir bölümüdür. Örneğin, 10 gramlık bir altın yüzük, yaşam döngüsü boyunca yaklaşık olarak 3 ton atık oluşturur. Bu durum bazen “ekolojik ayak izi” olarak tanımlanır (Gertsakis ve Lewis 2003).

Ambalaj, ürün tedarik sisteminin bir parçasıdır ve aşağıdaki bileşenleri içeren ve ambalaj tedarik zinciri olarak bilinen birbirine bağlı proseslerden oluşur:

- Hammadde eldesi
- Ambalaj malzemelerinin üretimi
- Ambalajın üretimi
- Ambalajlamanın tüm basamaklarını içeren dolum ve üretim işlemleri
- Ambalajlanan ürünlerin dağıtımı
- Ambalajlanan ürünlerin satışı
- Ambalajlı ürünün kullanımı
- Ambalajın geri dönüşümü/bertarafı (James 2003).

Ambalajın kendisinin bir çevresel etkisi olduğu gibi, ambalaj atığı yönetiminde de depolama alanlarından ve geri dönüşümlü atık toplanan araçlardan kaynaklanan hava emisyonları ve yeniden işleme aşamasında kullanılan su gibi çevresel etkileri vardır.

Birçok araştırmacı ve karar verici otorite tarafından daha önce de belirtildiği gibi sürdürülebilirliğin başarılabilmesi, kaynakların verimli kullanılmasına bağlıdır ve bu verimi sağlamak üzere %75 ile %95 oranları arasında değişen azaltım savunulan farklı düşünceler bulunmaktadır. Konuyla ilgili olarak “Biomimicry” (doğa modellerini çözümlen, taklit eden ve insanların hayatında karşılaşılan problemleri doğal tasarımlardan ve proseslerden esinlenerek çözmeye çalışan yeni bir bilim dalı, örneğin solar hücrelerin yapraklardan esinlenerek oluşturulması gibi) doğadan alınacak dersler olduğunu ve doğada

hiçbir şeyin atık olmadığını savunmaktadır. Sürekli kapalı bir sistemde, prosesin oluşan atık diğer bir proses için hammadde olur.

Buna göre atık hiyerarsisi uygulaması, bazı anahtar prensipleri de ele almayı gerektirir:

- Kirlilik önleme ve azaltım daima tercih edilen seçenekler olmalıdır. Sürdürülebilirlik anlamında bu seçenekler azla daha çok yapmayı ve kaynak kullanım verimini arttırmayı sağlarlar.
- Geri kazanım seçenekleri, Somut Çevresel Değer'in (EEV) maksimum miktarını olabildiğince korumayı amaçlamalıdır. Sürdürülebilirlik anlamında, materyallerin değerlerini hem çevresel hem de ekonomik açıdan maksimum değerde tutan kapalı sistemlerde atık oluşumunun engellenmesi amaç edinilmelidir.
- Enerji geri kazanımı sadece, enerjiye çevrilmiş değeri, son kullanım değerinden yüksek olan materyaller için kullanılmalıdır.
- Geri kazanım seçenekleri, her teknolojinin sadece atık üzerine olan etkileri değil geniş çapta sürdürülebilirlik etkileri düşünülerek seçilmeli, sera gazı üretimi, su tüketimi, atıksu gibi çevresel etkiler ve ayrıca sosyal ve ekonomik etkiler de düşünülmelidir (Gertsakis ve Lewis 2003).

3. GIDA AMBALAJLARI

3.1. Gıda Ambalajları ve Kullanım Alanları

Günümüze kadar üreticilerle tüketiciler arasındaki mesafeler kısa olduğu için, ürünler doğrudan herhangi bir ambalaja gerek duyulmadan doğrudan üreticiden alınırdı. Örneğin, süt kapıdan alınır, ayrı bir ambalaja gerek duyulmazdı. Artan nüfus ve dolayısıyla kentleşme nedeniyle mesafeler, gelişen teknoloji ve ekonomi ile de ürün seçenekleri artmıştır. Mesafelerin ve ürün seçeneklerinin artışı da ambalaj kullanım gereksinimini arttırmıştır.

Ambalaj kullanımındaki artışın nedenleri maddeler halinde sıralanacak olursa:

- **Ürün koruma:** Ambalajın en önemli fonksiyonu, içerdiği ürünü iç ve dış etkilere karşı korumaktır. Ürün, depolanması ve taşınması sırasında sarsıntılar, sıcak, soğuk, nem ve çeşitli mikroorganizmalar gibi etkilere karşılanmaktadır. Burada ambalajın görevi, ürünü son kullanıcıya ilk hali gibi hasar görmemiş olarak ulaştırmaktır (http-15). Ambalajlar aynı zamanda gıda dağıtım zincirinde atık azaltılmasında da rol oynamaktadırlar. Örneğin, verimli bir ambalajlama taze sebze ve meyvelerin satış noktalarına en az kayıpla ulaştırılmasını sağladığı için ürün kayıpları nedeniyle oluşan çevre kirliliği azalmaktadır. Ambalaj sistemi ve ürün entegre bir birimdir. Ambalajın özellikleri ve ürün birbirini tamamlar. Örneğin, ısıya duyarlı bir ürün doğal olarak ısı geçirmeyen bir ambalaja gerek duyar (James 2003).
- **Ulaşılabilirlik:** Günümüzde, insanlar geniş ürün seçenekleri görmek istedikleri için eski sistemler artık geçerliliğini yitirmiştir. Dünyanın her yerindeki insanlar, istedikleri ürünleri marketlerde bulabilmeyi, hızlı ve rahat bir şekilde alışveriş yapmayı istemektedirler. Ambalajlar bunu kolay hale getirmektedir. Artan iş temposu nedeniyle ve zamandan tasarruf etme isteğiyle başvurulan internet alışverişi de modern ambalajlara güvenmektedir (http-15).
- **Maliyetin azaltılması:** Gıdaların ambalajsız daha ucuz olup

olmayacağı ambalajla ilgili olarak sık tartışılan konulardan birisidir. Sanılanın tam aksine ambalaj malzemesi; ürünün imalatçısı, dağıtımıcısı, perakendecisi ve son olarak da tüketicisi için, maliyetlerin azaltılmasına birçok açıdan yardımcı olur (Anonim-3).

- İmalat aşamasında otomatik dolum hatları için tasarlanmış ambalaj malzemesi kullanılarak iş gücü maliyetinden büyük oranda tasarruf edilebilir. İyi ambalajlanan malzemeler hasarlanmadığı ve neredeyse atık yaratmadığı için ürünün yenisiyle değiştirme maliyetinden de tasarruf sağlanır (Anonim-3).
- Dağıtım araçlarında ve depolarda mekanın en iyi şekilde kullanılmasını sağlayan ambalaj sayesinde dağıtıcılar da nakliye, yakıt ve enerji maliyetlerinden tasarruf ederler. Yakıt ve enerji tasarrufu çevrenin de iyileştirilmesine yardımcı olur (Anonim-3).
- **Bilgilendirme:** Toplum bilinci artıkça insanlar, aldıkları ürünün içerisine dikkat etmekte, sağlık ve çevre açısından daha duyarlı davranmaktadırlar. Bu aşamada ambalaj, etiketlemeyle içerisindeki ürünün yapısı, sağlığa uygunluğu, saklama koşullarına ait bilgiler verirken, kendisiyle ilgili olarak da çevresel mesajlar (geri dönüşebilirlik, biyolojik bozunurluk, yönetmeliklerde belirtilen isaretlemler v.s.) vermektedir (http-15).
- **Koruyucu tedbir:** Çocukların açamayacağı ilaç kutuları ve sirup siseleri trajik sonuçları önler. İnsanları, ilaçlardan, zehirlerden, kimyasal ürünlerden, parlayıcı sıvılardan, ağartıcılardan ve diğer tehlikeli maddelerden korumak için bazı ambalajlarda kolayca tanınan tasarımlar kullanılır (Anonim-3).

Ambalajlama yüzyıllar boyunca yapraklar ve ağaç kabukları gibi doğal malzemelerin kullanımından cam, plastik (esnek ve sabit formlarda), metal ve kartona doğru bir gelişme göstermiştir. Kağıt, plastik, metal veya cam ambalajlarından her biri kendine ait bir işleve sahiptir ve çeşitli yollarla birbirleriyle kombine edilerek daha kullanışlı hale getirilmektedir (James 2003, http-15).

İsveç'te yapılan bir çalışmaya göre, bir kişi günde ortalama 22 farklı

ambalaj kullanmaktadır. Örneğin, sampuan için bir plastik sise, süt için lamine karton kutu, konserve meyve için çelik bir kutu, içecek için alüminyum kutu ve alkollü içki için cam bir sise gibi. Bunların hepsi bilinen birincil ambalaj (tüketici ambalajı) türleridir. Birincil ambalaja ek olarak, dağıtım ambalajı olarak da bilinen ikincil ambalaj türleri (birincil sampuan ambalajlarını taşıyan mukavva kutu) ve de nakliye ambalajı olarak da bilinen üçüncül ambalajlar (ambalajlanmış sampuan kutularıyla yüklü bir paletin etrafına sarılan plastik) bulunmaktadır. Bu son tür 1000 lt kapasiteli metal kafesli plastik tanktan (IBC) oluşmaktadır. Yukarıda bahsedilen üç ambalaj aşaması ürünün korunması açısından birbirine oldukça bağımlidir (James 2003).

Gıda sanayisinde ambalaj, içine konulan gıdaların, son tüketiciye bozulmadan en az toplam maliyetle güvenilir bir şekilde ulaştırılmasını ve tanıtılmasını sağlayan bir araç olarak tanımlanabilir. Gıda sanayisi için ambalajın en önemli görevi içeriği koruyarak (stabilite) raf ömrünü uzatmak, diğer bir deyişle, işlenmemiş taze ürünleri taze halde, işlenmiş ürünleri ise, işlem sonrası özelliklerini koruyarak, istenilen kalitede tüketiciye ulaştırmaktır. İçindeki ürünün çeşitli dış etkilere karşı koruyan ambalajın oluşturulmasında kullanılan ambalaj malzemesinin özelliklerinin, belirtilen fonksiyonlara uyumlu olması gerekir. Özellikle gıda ambalajlarında nem, oksijene ve ısıya karşı duyarlı gıdalar ve ambalajları bu duruma örnek gösterilebilir (Üçüncü 2000).

3.1.1. Plastik ambalajlar ve ambalajlamada kullanılan polimerler

Ambalajlama, üreticiden tüketiciye olan tedarik zincirinin vazgeçilmez bir parçası olup bu zincirin herbir aşamasında birçok farklı ihtiyacı karşılamaktadır. Bu bağlamda ambalajdan beklenenler, üretim kolaylığı, ucuz ve sağlam olması, az yer kaplaması, ilgi çekici olması, taşıma ve açma kolaylığı sağlaması, ürünü en iyi derecede korumasıdır. Plastikler, her biri farklı özelliklere sahip olan farklı polimerler halinde bulduklarından, bu beklentilerin tamamını karşılamaktadırlar. Plastik ambalajlamanın bu avantajı polimerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile işleme özelliklerinden ve maliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Polimerler tek başlarına kullanılabildikleri gibi diğer

polimerlerle veya alüminyum ya da karton gibi diğer materyallerle kombine edilerek de kullanılmaktadır. Bu kullanıma bağlı olarak ambalaj esnek veya sabit olmaktadır (http-16).

Gidaların ambalajlanmasında kullanılan plastik ambalaj türleri polietilen (PE), polipropilen (PP), polietilentereftalat (PET), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC), poliamid (PA) şeklinde sıralanabilir.

3.1.1.1. Polietilen (PE)

Polietilen, naftanın parçalanmasıyla oluşan etilenin, polimerizasyonu sonucunda elde edilen bir polimerdir (Üçüncü 2000).

1990'li yılların verilerine göre polietilen, ambalaj sanayisinde kullanılan plastiklerin yaklaşık üçte ikisini oluşturmaktadır. Polietilen çok ucuz, kimyasal olarak kararlı, kaynak yapılması nispeten kolay, gerilmeye karşı mukavemetli ve dayanıklı olup düşük sıcaklıklara hassas değildir. Geniş bir sıcaklık aralığında kullanılmasının yanı sıra su buharına karşı mükemmel bir bariyerdir. Buna karşılık, gaz, aroma ve yağ geçirgenliği açısından vasat özelliktedir (Savaşçı ve ark. 2002).

Polietilen üretim yöntemine göre şöyle sınıflandırılır:

- Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE; 0,917–0,924 g/cm³)
- Orta yoğunluklu polietilen (MDPE; 0,925-0,935 g/cm³)
- Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE; 0,936-0,960 g/cm³)

Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE): Düşük yoğunluklu polietilen ülkemizde Petkim Petrokimya A.S. tarafından “Petilen F2-12 (film polimeri)” ve “Petilen G-03-5 (genel amaç polimeri)” şeklinde ticari adlar ile tanımlanmaktadır. Her türlü paket, torba ve çanta yapımında ve gıda ambalajında kullanılan petilen F2-12'den film ve torba yapımı ülkemizde çok yaygındır. Dayanıklı gıdaların bazıları, örneğin makarna, un, baklagiller, seker, tuz, kuru üzüm uzun süreler için; taze meyveler, et, peynir ise kısa süreler için Petilen F2-12'den hazırlanan film veya torba içinde korunabilirler (Üçüncü 2000).

Düşük yoğunluklu polietilenin diğer bir türü olan Petilen G-03-5 ise,

özellikle gıdaların dış ambalajlarında, yani sirink film (çoklu siseleri koli içerisinde bir arada tutan ambalaj) olarak sarap, bira, kola, sise suyu ve benzerinin koli ve paket ambalajlarında kullanılmaktadır. Bu tür filmler, 160-170°C civarındaki bir tünelden geçirildiğinde, enine ve boyuna büzülür ve maddeyi iyice sarar. Tünelden geçirme süresi çok kısa olduğu için gıdalar sıcaklıktan etkilenmemektedir (Üçüncü 2000).

Lineer düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) ise daha dayanimli ve bunun sonucu olarak da kalınlığının azaltılabilmesinin mümkün olması, kaynaklama için daha yüksek sıcaklıklara dayanikli olması nedeniyle düşük yoğunluk polietilen yerine giderek artan oranda kullanılmaktadır (Savasçi ve ark. 2002).

Orta yoğunluklu polietilen (MDPE): Bu sınıfa giren polietilenin ısıl yapışma sıcaklığı ve ısıl dayanımı düşük yoğunluklu polietilene göre daha yüksektir (115-200°C). “Hottack” (yapışma sıcaklığında yapışma sağlamlığı) niteliği ise LDPE’ye benzer. Fakat daha gevreklerdir. Filmleri duru değil pusludur. Mekanik dayanıklılığı biraz düşüktür (Üçüncü 2000).

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE): Yüksek yoğunluklu polietilen, etilenin alçak basınç (15-20 bar) altında polimerizasyonu ile elde edilen bir plastiktir. Yüksek yoğunluklu polietilenin yumuşama sıcaklığı, suyun kaynama noktasından daha yüksek olduğundan (120-130°C), ambalajı ile birlikte buharda sterilize edilen ürünler için kullanılabilir. Yüksek yumuşama sıcaklığı ve oldukça iyi geçirmezlik özellikleri nedeniyle, ambalajı içinde pisirilecek çeşitli hazır gıdalar için pisirme torbasi olarak yararlanılabilir.

Gıda ambalajlamada yüksek yoğunluklu polietilen, hayvansal yağ (et paketlemesinde) ve aroma geçirmeme, çok iyi şekil kararlılığı (sandık gibi enjeksiyon kalıplamayla üretilmiş ürünlerde), iyi ısıl dayanım (otoklavlarda sterilize edilen süt siselerinde) gibi özelliklerin istendiği uygulamalarda kullanılır. Yüksek molekül ağırlıklı polietilen (HMPE) ise özellikle küçük ve bükülmez poset yapımında kullanılır (Savasçi ve ark. 2002).

Yüksek yoğunluklu polietilenin gıda ambalajlamada kullanılan türleri üç grup altında toplanabilir. Bunlar: “sisirme”, “örgü çuval” ve “film” türleridir. Sisirme türü, Petkim tarafından üretilmekte olup “Petilen SO-452” ticari kodu ile tanımlanmaktadır. Bunlardan aynı zamanda, dayanikli, kolay temizlenebilir, hafif

ve sogukta darbelere dayanikli kasalar da yapilmaktadir. Örgü çuval türü ile de patates, sogan ve benzeri gidalarin tasima ve depolanmalari amacina yönelik çuvallar dokunmaktadır (Üçüncü 2000).

3.1.1.2. Polipropilen (PP)

Polipropilen filmler 1960'li yillardan beri varolan, polietilen gibi fiyati düşük olan polimerlerdir. Polipropilenin su buhari özelligi iyi (LDPE ve HDPE arasinda) ancak, gaz ve aromayi geçirmeme özelligi vasattir. Polipropilen hayvansal yaglara karsi polietilenden daha iyi bir bariyerdir. Ayrica 165°C gibi polietilene oranla çok daha yüksek olan ergime sicakligi nedeniyle yaklasik 140 °C'a kadar kullanilabilir. Kristallenmenin ani sogutma ile engellenebilmesi durumunda, isik geçirgenligi de polietileninkinden oldukça büyüktür (Savasçi ve ark. 2002).

Polipropilen malzeme; sekerlemeler, kurutulmus meyveler, kuruyemisler, unlu mamuller, hafif gidalar, kahve, kakaolu ürünler ve benzerlerinin ambalajlanmasinda basariyla kullanilmaktadir. Polipropilenden ayrica, oluklu mukavva benzeri içi bosluklu levhalardan yapilmis degisik boyutlu kutu ve kasalar da üretilmektedir. Levhalarin çekimi ekstruzyon profil yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Malzemenin içi bosluklu oldugu için, kismen isi yalitimi saglanabilmekte ve sebze, balik gibi gidalarin ambalajlanmasinda kullanilmaktadir. Polipropilen kopolimerlerinden sise imalati da önemli asamalar göstermistir. Bu siselere sicak dolum yapilabilmekte ve çeşitli sivi gidalar konulabilmektedir. Ayrica polipropilen levhalardan injeksiyon, termoform veya sisirme yöntemleriyle yapilan kaplara; reçel, marmelat, hardal, margarin, salça gibi gidalar ambalajlanmaktadır. Çift yönlü gerdirilmis PP'den üretilen siseler, PET siselere göre daha hafif ve daha serttirler. Darbe dayanimlari daha iyidir. Oksijen ve karbondioksit geçirmezligi daha üstündür. Boyut stabiliteleri de daha iyidir. Diger yandan çift yönlü germe islemiyle kirilganlik azaltilabildigi için polipropilen filmin derin dondurma uygulamalari da mümkün olmaktadır (dondurma kaplari gibi). Ayrica buharda sterilize edilebilen ve mikrodalga firinlarda isitmaya uygun kaplar da üretilmektedir (Üçüncü 2000).

3.1.1.3. Polietilen tereftalat (Termoplastik Poliester, PET)

Bu tür polimerler çok islevli asit ve alkollerin yoğunlaştırılması ile elde edilirler. PET, termoplastik polyesterlerin en tanınmış temsilcilerindedir. PET'in çekme, gerilme ve kopma direnci çok yüksektir. Kolay kolay asınmaz. Son derece seffaftır. Su buharı, oksijen, aromalar ve yağ geçirmezlik özellikleri iyidir. Bu plastiğin öteki tipleri; kaplanmamış, polimer kaplanmış ve derin çekilebilir PET'dir. Her türlü baskı, laminasyon (kâğıt, PE, alüminyum folyo gibi bir veya daha çok malzemenin ısı ile birbirine yapıştırılması ve bir yüzey üzerine kaplanması), metalizasyon (metal buharlaşarak kaplama yapılacak malzemelerin üzerine yapışması tekniği) uygulamalarında ve otomatik ambalajlama makinelerinde kullanılabilir. Gaz geçirgenliğinin düşük olması, seffaf ve darbe dayanımının üstünlüğü, gazlı içecek ve su ambalajlanmasında kullanımını sağlamıştır. Ayrıca PET kaplanmış karton malzemenin fırında pişirme kapları elde edilmektedir. Bu tür kaplar 220°C'ye kadar dayanabilmektedir. Erime noktası yaklaşık 260°C olduğu için, alüminyum folyonun yani sıra PET folyolar da kızartma folyosu olarak kullanılabilir. Folyodan ısı ile şekillendirme ile elde edilen kaplardan mikrodalga fırınlarında yararlanılabilmektedir (Üçüncü 2000).

Öte yandan, tavuk ve benzerlerinin ambalajlanmasında büzülebilir PET olarak kullanılabilirdiği gibi, özellikle yüksek gaz geçirmezliğinin gerekli olmadığı durumlarda, ısıdan koruyucu işlev yapması için, metalize PET folyo olarak da değerlendirilmektedir (Üçüncü 2000).

Çift yönlü gerdirilmiş malzemenin hazırlanan sise, kavanoz ve kutular, karbondioksitli içecekler, sıvı yağ ve benzeri çok sayıda ürünün ambalajlanmasına uygun olmakla birlikte, PET'in sise olarak ya da diğer ambalajlama uygulamalarında kullanımını sınırlayan bazı kritik özellikler de vardır. Nitekim bira, meyve suyu ve bazı domates ürünlerinin ambalajlanmasında yeterli oksijen bariyeri oluşturamamaktadır (Üçüncü 2000).

3.1.1.4. Polistiren (PS)

Polistiren; kristal berraklığında, mükemmel ısı ve boyut stabilitesi olan,

kolay islenen kirilgan bir plastiktir. Ancak seffaf, sert camsi özellikleri kimyasal olarak degistirilerek; opak kirilmaz bir maddeye dönüştürülebilir.

En yaygın kullanılan polistiren türleri:

- Standart tip PS
- Darbe direnci yüksek tip PS
- Stiren – Akrilonitril Kopolimer (SAN)
- Akrilonitril – Butadien – Stiren Kopolimer (ABS)
- Poliakrilonitril (PAN)
- Polistiren köpüğü (EPS)'dir.

Film halindeki polistiren köpükten özellikle ambalajlama uygulamalarında, lamine kagit, karton yerine yararlanilir. Isi iletimi çok düşük, dis darbeleri absorbe edici ve hafif olan köpük, yas meyve sebze ve balik dis satiminda kasa kutu seklinde de kullanılmaktadır. Yumurta gibi kolay kirilan duyarli gıdaların ambalajlanmasına da uygundur (Üçüncü 2000).

Polistirenin avantajı, enjeksiyonla kalıplama ve isi ile sekillendirmede uygun islenebilme özellikleri göstermesi, uygun fiyatı ve son derece mükemmel sekil kararlılığıdır. Gaz ve buhara karsi yüksek geçirgenliği ise dezavantaj olusturur. Bu sebeple polistiren, yağ oranı yüksek olmayan süt ürünleri gibi ürünlerin (yogurt, dondurma krema gibi), genellikle sogutmali ortamda, kısa süreli depolanması isleminde ambalaj malzemesi olarak kullanılır. Polistiren ayrıca meyve, yumurta, firin ürünleri ve sekerleme ambalajlamasında ayirici olarak kullanılır (Savaşçı ve ark. 2002).

3.1.1.5. Polivinil klorür (PVC)

PVC, vinil klorür monomerinin (VCM) çeşitli katkı maddelerinin yardımıyla basınçlı kaplarda (reaktör) serbest radikal polimerizasyonu ile elde edilen bir polimerdir.

Gıda sanayinde sert PVC folyolar, çeşitli ambalajlama uygulamalarında ve çikolata, sekerleme gibi ürünler için ayirici bölmelerin olusturulmasında kullanılmaktadır. Çogunlukla 50 µm inceliğine kadar levha halinde plastifiye (yumusatılmış) olmamis PVC, çikolata, bisküvi, kek gibi ürünlerin

ambalajlanmasında tepsi görevi yapan kaplara dönüştürülebilir. Verilen şekli muhafaza edebilme özelliği nedeniyle çift büküm sekerleme ambalajı olarak kullanılabilir. Bunun yanı sıra darbe mukavemeti iyi olduğu için su, sıvı yağ ve sirke ambalajında PVC siselerden yararlanılabilir. Tereyağı, margarin, çeşitli mezeler gibi yağ ve yağlı gıdalar için beher tipi ambalaj tipi ambalaj kapları ve kapakları bu tür PVC'den üretilebilir. Yumusatıcı içeren plastifiye PVC filmler ise taze meyve ve sebzelerin, taze et ve kanatlıların (tavuk vb.) ambalajlanmasında çoğu kez 10-20 µm kalınlıklarda kullanılmaktadır. Ayrıca sıcakta enine boyuna çekme özellikleri artırılmış shrink filmler halinde; birim ambalajların (tüketici ambalajı) bir araya getirilip koli haline dönüştürülmesinde; seker, çikolata kutusu ve benzeri ambalajların kaplanmasında; kuru incir, üzüm ve kayısı gibi meyvelerin konulduğu üstü açık kapların, kirtasiye ve oyuncakların sarılmasında kullanılmakta ve sise kapaklarında conta olarak yararlanılmaktadır (Üçüncü 2000).

PVC kullanımı, kanserojen monomerlerden (vinil klorür) üretiliyor olması, PVC'den üretilen malzemenin kullanım sonrası imha edilmesi sırasında klor, su varlığında da HCl gazı ürettiği olması ve buna ek olarak dioksin üretimine de neden olduğunun ileri sürülmesi nedeniyle tartışma konusu olagelmıştır. Ancak bu hususları tüm yönleriyle inceleyen ve uygun koşulların sağlanması durumunda PVC üretimi ve kullanımına atfedilen sorunların üstesinden gelinebileceği sonucuna ulaşmış olan ve PVC'yi olan/olmayan diğer malzemelerle mukayese eden çeşitli çalışmalar mevcuttur. Taze et ve meyve ambalajlamada kullanılan streç PVC filmler de plastifiyan (alkol ve ftalik anhidrür reaksiyonu ile üretilen, berrak, renksiz ve kokusuz bir kimyasaldır, PVC ile reaksiyona girerek üretilen ürünün elastikiyetini sağlar ve şekillendirir) içermeleri nedeniyle tartışma konusu olmuş, filmde mevcut maddelerin ambalaj içindeki gıda maddesine transferinin önüne geçilebilmesi için film kalınlığına ve uygulamalara düzenlemeler getirilmiş ve hayvansal yağ içeriği yüksek olan gıda maddeleri ile ambalaj malzemesinin doğrudan temasından kaçınılması gerektiğine karar verilmiştir (Savaşçı ve ark. 2002).

3.1.1.6. Poliamidler (PA)

Sayısı 20 civarında olan farklı poliamid türlerinden ambalajlama açısından en önemli olanları PA 6, PA 12, PA 6/66, PA 6/12 ve PA 1'dir. Poliamidler kısmen kristal yapıda olup PA 6/66 ve PA 6/12 en düşük kristal derecesine sahiptir. Kristal içeriğindeki artış, şekil kararlılığını ve geçirgen olmama özelliğini artırırken; saydamlığını azaltmaktadır (Savaşçı ve ark. 2002).

Poliamid 6'dan çift yönlü gerdirilmiş filmler (BOPA) üretilebilmektedir. Böylece hem yırtılmaya karşı direnci üç kat artırılabilen, hem de geçirgenlik değerleri önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Ayrıca koekstrüde (düşük gaz geçirgenliğine ve bariyer özelliğine sahip malzemelerin, diğer plastiklerle birlikte kullanılmasıyla çok katmanlı yapıda ambalaj malzemesi üretimi) edilerek veya LDPE ve PP ile birlikte kullanılarak su buharı geçirmezlik ve kaynaklanabilirlik özelliği iyileştirilebilmektedir. Bu tür çok katlı malzemedeki özellikle sert ve yarı sert peynirlerin, bazı fermente et ürünlerinin ve balıkların vakum ve koruyucu gaz esliğinde ambalajlanmalarına uygun termoform kapların üretimleri yapılabilmektedir (Üçüncü 2000; Savaşçı ve ark. 2002).

3.1.2. Cam Ambalajlar

Cam, bir ambalaj malzemesi olarak sahip olduğu olumlu özellikler nedeniyle gıda ve içecek sektöründe çok yaygın ölçüde kullanılmaktadır. Belli başlı bu olumlu özellikler aşağıda kısaca belirtilmiştir (Üçüncü 2000).

- Sert, sağlam ve kimyasal açıdan inert bir malzemedir. İçine konulan gıda ve içecek ile hiçbir etkileşim olmaz; zamanla asınmaz ve bozulmaz,
- Renkli olduklarında ürünü belirli düzeyde ısı etkisinden korur,
- Gaz, su buharı, koku ve sıvı geçirgenliği yoktur,
- İçine konulan ürün görülebilir. Böylece tüketici satın aldığı mal hakkında fikir sahibi olur. Ayrıca üretici, iyi bir sınıflandırma, doldurma gibi önlemlerle malini daha kolay satabilme olanlığına kavuşur,

- Isil dayanimi yüksektir, sterilize edilebilir,
- Biçim degistirmez,
- İç basınç ve düsey yüklere dayanıklidir,
- Teneke kutulara göre daha kolay açılabilir,
- İçindeki ürün tüketildikten sonra baska amaçlarla da kullanılabilir,
- Çesitli biçim, büyüklük ve renkte yapılabilir,
- Vakum dolum ve kapama yöntemine uygundur,
- Makinelerde yüksek dolum kapasitesine ulasilabilir (Üçüncü 2000).

Camin bu olumlu özelliklerinin yaninda asagida verilen bazi olumsuz özellikleri de bulunmaktadır :

- Ağirdir, tasimada sorunlara yol açabilir,
- Kirilgandır; darbe, isil sok ve asiri iç basınç gibi etkilerle kirilabilir,
- İçini gösterdiginden; üreticinin ayıklama, siniflandirma ve doldurma gibi işlemlerde çok özenli davranmasi gerekir. Bunlar maliyeti artırıcı etkenlerdir.
- Camin isik geçirmesi, içerdigi gidanın renginin bozulmasına neden olabilir (Üçüncü 2000).

3.1.3. Kagit ve Karton Ambalajlar

3.1.3.1. Kagit ambalajlar

Kagit, ister ambalaj kagidi, ister karton ya da oluklu mukavva olarak kullanilsin, gelismesini, çevre ve kullanım kolayligi olmak üzere iki hedefe yogunlastirmaktadır. Kagit/karton üreten firmalar aslinda olumlu bir çevre imajindan yararlanmakta, ayrıca hammadde üretimini gelistirerek, mümkün olduğu kadar az çevre kirliligi yaratan üretim yöntemlerine yönelmektedirler. Geri dönüştürülen kagidin kullanımının artmasi ve piyasaya yalnızca kartondan üretilen ambalajların sürülmesi düşüncesinin altında da çevre korumaciligi yatmaktadır.

Kagit esasli ambalaj malzemelerinin ana hammaddesi kagittir. Kagidin islenmesi de karton gibi kolaydir. Günümüzde üretilen kagitlar arasında ambalaj kagidi ve sargilik olarak kullanılan çok degisik kagitlar bulunmaktadır:

Glasiin (Saydam Parsömen): Parlak ve yari saydam bir kagit türü olup 20 – 40 gr/m² agirliğında üretilmektedir. Yaglara karsi dirençli olduğundan, hem bisküvi, yemeklik yağ ve ameliyat pansuman malzemesinin ambalaji olarak, hem de bisküvi ve çikolata kutularinin içine kaplama kagidi olarak kullanılmaktadır.

Bitkisel Parsömen: Kagit üretim evresinde özel asitler ile ayrı bir işleme tabi tutularak yağ geçirimsiz hale getirilen bitkisel parsömenin birim ağırlığı 40 - 75 gr/m²'dir. Kagit, gıda maddeleri ile doğrudan doğruya temas edecek şekilde kullanılacak ise; bitkisel parsömen kagidi kursun, arsenik, bakir, kükürtdioksit gibi zehirli maddelerden arindirilmiş olmalıdır. Bu kagitlar yağ ile diğer yağli cisimlerin tüketici ambalajlarında kullanılmaktadır (http-17).

MG Pelür (MG Makinada Perdahlanmış): İnce ipeğimsi bir kagit olup normal olarak bir tarafı perdahlanmıştır. Kirilgan ve hassas malzemelerin ambalajında kullanılmaktadır. 17- 18 gr/m² birim ağırlığındaki pelür kagit bütün dünyada elma, portakal gibi meyvelerin sargılanmasında kullanılmaktadır. Meyve sargılamakta kullanılan kagitlar, meyvenin raf ömrünü uzatmak için difenil emdirilmiş olarak temin edilmekte fakat bu tip kagitların üretimi ve kullanımına bazı ülkelerde artık izin verilmemektedir.

Yağli Kagit: Birim ağırlığı 40 -60 gr/m² arasında olup glasinden daha sert ve ağır olduğundan tereyağı paketlenmesinde kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır (http-17).

3.1.3.2. Karton ambalajlar

Karton ambalajın diğer ambalajlarla rekabet edebilmesi için, günümüzde çok çeşitli kartonlar geliştirilmiştir. Dünyadaki önemli birçok karton üreticisi, 20.yüzyilin son on yılında üretim birimlerini yenilemiş, karton üretim birimlerini çevreye dost aritma üniteli tesisler haline dönüştürmüşlerdir. Bugün artık yalnızca yeni elyaftan karton üretilmemekte, ayrıca geri dönüştürülmüş karton ve kagittan da karton üretilmektedir (http-17).

Geri dönüştürülmüş elyaftan üretilen kartonlar, çok renkli baskıya, laminasyona uygun rakleli (banyo işlemleri sırasında kalıp üzerindeki banyo artıklarının siyirilerek atılmasını sağlayan özel lastikli siyirgaç) sıvama yöntemiyle kaplanarak parlaklık kazandırılmış olup, yağ geçirmez sertlik derecesi yüksek, özel kartonlardır (<http-17,18>).

Kaplama teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte kartonların yüzeyleri daha da karmaşık bir hal almaktadır. Gıda ve ilaç sanayi için saflık ve hijyen talepleri arttıkça yüksek kaliteli kartonların pazarı da büyümektedir. Bu beklentileri karşılamak üzere yapılan teknolojik yenilikler sonucunda, toz üretmeyen, nem emme oranı çok düşük kloruz kâğıt hamurundan elde edilen birinci kalitede kartonlar üretilmiştir. Ambalaj üretiminde kullanılacak kartonun seçimi tümüyle, ambalajın içine konulacak ürünün özelliklerine bağlıdır. Bugün 400-700 mikron kalınlık ve 300-500 gr/m² ağırlıkta, 400-950 mikron kalınlık ve 300- 665 gr/m² ağırlıkta, 400-800 mikron kalınlık ve 285-590 gr/m² ağırlıkta ve 400-590 mikron kalınlık ve 315-615 gr/m² ağırlıkta çok çeşitli karton üretimleri mevcuttur. 350-800 gr/m² ağırlıkta sıvanmış veya sıvanmamış ya da beyaz kâğıt kaplamalı kartonlar sekerlemeler, dondurma dış kapları, deterjan ambalajları, kibrit kutuları üretiminde kullanılmaktadır (<http-17>).

300-450 gr/m²'lik kartonlardan hem suya hem de yağ karşı bariyer özelliği bulunan, derin dondurucuda da kullanılan tavuk, balık, et gibi ürünler için ambalajlar üretilmektedir. 350-1100 mikron kalınlıkta, doğal elyaftan üretilen kartonlar laminasyonlarda kullanılmaktadır. Örneğin; gıda ambalajı özellikle dondurulmuş gıda ve kuru gıda ambalajında kullanılacaksa yeni elyaftan üretilen, beyazlatılmamış ve özel kaplamalı kartonlar tercih edilmekte olup, LDPE koekstrüzyonlu kartonlar, dondurulmuş gıda ve süt ürünlerinin ambalajlarında kullanılmaktadır (<http-17>).

Ambalajlarda daha az hammadde ya da daha ince malzeme kullanarak daha hafif ambalaj üretmek eğilimi, karton ambalaj üretiminde de kendini göstermektedir. Örneğin; önceden 650 gr'lık karton kullanılarak üretilen 3 kg'lık deterjan kutuları artık neme karşı direnç kazandırılmış 480 gr karton kullanılarak üretilmektedir. İçine konulacak ürünün özelliklerine göre karton ambalaj üretiminde kullanılan kartonlar, tek başlarına sertlik, patlama, nem ve su bariyer

değerlerinin yetmediği yerlerde bazı özel işlemlere tabi tutulmaktadır. Buna örnek olarak, kartonun neme karşı bariyer özelliği kazandırılması için kartonun bir ya da iki tarafının mumlanması ve kartonların farklı tip plastik filmler ya da alüminyum folyo ile birleştirilmesi sonucu oluşan laminasyon verilebilir. Laminasyon, yalnızca kartona istenilen bariyer özellikleri kazandırmak için değil, aynı zamanda dekoratif amaçlı olarak da uygulanmaktadır. Diğer bir yandan kartonun yüzey görünümünün geliştirilmesi için istenildiğinde vernik ve lak uygulanmakta, içindeki ürünün görünmesi için karton ambalajın üzerine pencere açılmaktadır. Kartonun diğer ambalaj malzemeleri ile beraber kullanımıyla üretilen karton kutuların kullanım alanları daha da genişlemektedir. Yağlı bir gıda ürünü, dondurulmuş bir deniz ürünü ve hamur isisi pek çok dondurulmuş gıda, kombinasyonlu karton ambalajlar kullanılarak ambalajlanmaktadır. Sıvı ürünlerin ambalajlanmasında da kombinasyonlu karton kutulardan yararlanılmaktadır. Mikron oluklu, E dalga, F dalga (oluklu mukavvalarda bulunan dalga boyları) kutuların karton kutu ambalajlarında kullanılması yeni bir gelişmedir.

3.1.4. Kompozit ambalajlar

Kompozit malzemelerdeki kombinasyon sözcüğü; laminasyon, ekstrüzyon, koekstrüzyon veya kaplama yoluyla birleştirilmiş iki veya daha fazla sayıda plastik, alüminyum folyo ve kâğıt tabakasını ifade etmektedir (Üçüncü 2000).

Yalnız bir materyalin kullanımı ile yeterli sonuç alınamayacak durumlarda başvurulan kombinasyon uygulamalarında temel amaç, çeşitli materyallerin üstün özelliklerini bir araya toplamaktır. Örneğin, alüminyum folyo gazlara karşı üstün bir geçirmezlik sağlar. Oksijenden kesin koruma isteyen ürünlerin ambalajlarında folyo kullanımı kaçınılmazdır. Ayrıca alüminyum folyo yağlara karşı da geçirmezlik özelliği gösterir. Ancak folyonun bu özelliklerinden ambalajlamada tam bir yarar sağlanabilmesi için, ambalajın dış çevre ile ilişkisi tamamen kesilecek şekilde kapatılması gerekir. Bu da alüminyum folyonun, iyi ısıl yapışma yapabilen, örneğin düşük yoğunluklu polietilen film ile bir kombinasyonda kullanılmasıyla mümkün olabilir (Üçüncü 2000).

Diger bir örnek olarak, ambalajında pisirilen hazır gıdalar için yüksek sıcaklığa dayanıklı PET ilk akla gelen materyallerden biridir. Ancak ambalajın bir poset şekline dönüştürülüp kapatılabilmesi için, yine iyi ısıl yapışma yapan materyallerin bu kombinasyonda kullanılmaları gerekir. Bu açıdan en önemli kombinasyon ortagi olan termoplastiklerden: PA, PET, PC, HDPE, PP gibi polimerler yüksek sıcaklıklara dayanırlar; PET, PA, PP, PS (ABS) sağlam ve dayanıklıdır; PVDC, PP, HDPE ve LDPE'nin su buharı geçirgenlikleri düşüktür; PVDC, polivinil alkol (PVAL) ve PA'nin ise oksijen geçirgenlikleri düşüktür (Üçüncü 2000).

Çok katlı esnek ambalaj folyolarından sınırsız sayıda kombinasyon oluşturulabilir. Özel lakların, vaksların uygulandığı, ters veya dış yüzeye baskıların yapıldığı ikili, üçlü ve hatta daha fazla katmanlı bu malzemelerde, ürün ambalaj ilişkisi bağlamında ve ambalajlama makinalarında kullanıma yönelik birçok özellik sağlanabilmektedir. Bu özelliklerden bazıları şunlardır (Üçüncü 2000).

- Isı ile kolay şekillendirilebilme,
- Dolum ve kapatma makinalarında kolay kullanım,
- Isı ile yapışabilme,
- Isı gereksiz basınçla kapanma,
- Baskı yapabilme,
- Lamine transparan, sedif ve metalize filmlerin kullanımı ile yüksek yüzey parlaklığı,
- Özellikle alüminyum folyo ile sağlanan ısı geçirmezlik,
- Uygun bariyer malzeme kullanımıyla yağ geçirmezlik,
- Ürün aromasını koruma,
- Su buharına karşı geçirgenlik,
- İnert gaz uygulamaları ile dolum olanığı,
- Darbelere ve çatlamalara karşı dayanıklılık,
- Çeşitli sterilizasyon yöntemlerinin uygulanabilirliği,
- Islanmış uzun ömürlü ürünlerin ambalajlanabilmesi,
- Dondurulmuş gıdaların ambalajlanabilme olanığı,

- Ters baskı olanagi ile ilişkili olarak; ambalajlama, taşıma ve kullanım sırasında dış etkenlerden, sürtünmeden baskılı yüzeyin etkilenmemesidir (Üçüncü 2000).

Bunların yanı sıra bir kombinasyona (birlesime) girecek materyalleri doğru olarak belirleyebilmek için, ambalajlanacak ürünün ambalajlanma anındaki nem oranı, kritik nem oranı, oksijene duyarlılığı gibi çeşitli özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Ayrıca, ürünün ambalajda kalma süresi yani raf ömrü, depolama koşulları, ambalajın taşıyacağı ağırlık gibi etmenlerin de göz önünde bulundurulması gerekir (Üçüncü 2000).

Gofret, hazır çorba, puding gibi gıdaların ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılan “Kagıt/Polietilen/Alüminyum folyo/Polietilen” gibi herhangi bir, çok katlı malzeme örneğinde kombinasyonun yazılışı belirli bir kurala bağlı olup, ilk yazılan katman en üstüdedir. Sonra gelen materyaller, ambalajda izledikleri sıraya göre; ürün ile temas eden katman ise en son yazılacak şekilde belirtilirler. Yukarıda örnek verilen kombinasyonda;

kagıt — sağlamlık, mukavemet ve baskı yüzeyi;
 alüminyum folyo — nem ve gaz geçirmezlik;
 aradaki PE katmanı — kagıt/folyo arasında yapıştırıcı
 sondaki PE katmanı — ısı yapışma

işlevlerini yerine getirir (Üçüncü 2000).

Çok yüksek sıcaklıkta (UHT) işlenmiş ürünlerin aseptik dolumunda kullanılan bariyer katmanlı kartonlar ise, % 75 kagıt, % 20 polietilen ve % 5 alüminyum gibi üç maddeden oluşmaktadır. Bariyer katmanlı ambalaj dışarıya doğru altı tabakadan oluşmakta olup, bunlar: kagıt ve polietilen, polietilen, alüminyum, polietilen ve polietilendir. İç polietilen tabakaları paketlemenin su geçirmez olmasını sağlama ve alüminyumla yiyecek madde temasını önleme fonksiyonuna sahiptir. Alüminyum tabaka, hava ve ışığın girmesini engelleyerek yiyeceği korurken, kagıt katılığı vererek ambalajın sabit durmasını sağlar (Banar 2005).

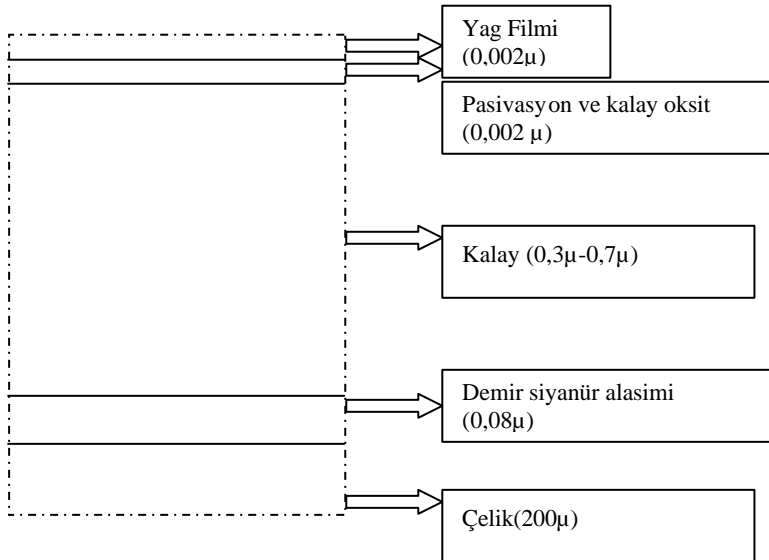
3.1.5. Metal ambalajlar

Türkiye'deki çeşitli gıdalar, kişisel bakım ürünleri, boyalar, endüstriyel ürünler ve veteriner ürünleri değişik formlarda işlenmiş alüminyum ve teneke gibi metal ambalajlarda pazarlanmaktadır. Metal ambalaj üretimi 1996 yılında 100 000 ton'dan 2002 yılında yaklaşık 312 000 ton'a ulaşmış bulunmaktadır (Günay ve Erber 2003).

Metalin yumuşatarak şekillendirilebilmesi gıda ambalaj sanayisinde yer alması açısından önemli bir rol oynamıştır. Metal ambalaj iki gruba ayrılır. Birincisi teneke ambalaj, ikincisi alüminyum ambalajdır.

3.1.5.1. Teneke ambalajlar

Teneke soğuk çekilmiş yassı bir mamuldür. Genellikle 0,50 mm den daha ince bir yapıya sahiptir. Düşük karbonlu çelik levhanın kalaylı yüzeye sahip olması, çelik sac ile teneke kavramını ayıran bir özellik olmaktadır. Tenekeyi meydana getiren katlar istan içe doğru Şekil 3.1'de verilmistir (http-19).



Şekil 3.1. Kalay kaplı teneke kesiti (http-19)

Teneke kutu yapiminda elik gövdesi %50 oraninda, tahrip olmaksizin inceltilenmektedir. Bu zelligi teneke kutunun yayginlasmasinda etkili olmuştur. Isik, hava, su gibi ortam kosullarina karsi dayanikliliginin yüksek olması, kemirgen ve böceklere karsi saglam ve dayanikli olması, bozulabilir gıdaları güvenilir sekilde muhafaza edebilmesi, sinirli üretim dönemleri olan gıda ürünlerini ileride kullanılmak üzere saklayabilmesi, teneke ambalajın stnlgdr. Son yıllarda kaplama özelliklerinin iyileştirilmesi ve teneke kutunun korozyona dayanikli hale getirilmesi ve daha ince kalınlıklara inilebilmesi, teneke ambalaj sektörünün gelişmesinde rol oynamıştır (http-19).

Gıda ambalajı olarak kullanılan metal kutular, ana materyali veya kaplaması farklı levhalardan yapılırlar. Bunlar (nc 2000):

- Kalay kaplı teneke levhalar: Bu tür teneke levhalar konserve ambalajlanmasında tercih edilmektedir.
- Kalaysız teneke levhalar: Bu tür teneke levhalar, sivama (derin çekme) kutu üretiminde, sise kapsülü yapimında, bira ve mesrubat kutularında, bazı konserve kutularının kapak ve tabanlarının imalinde kullanılmaktadır. Ancak asitli meyveler için uygun deildir.
- Lak kaplı teneke levhalar: Teneke levha veya kutuya uygulanan, kuruduktan sonra meydana getirdiği ince film tabakasıyla kutu ve içine konulan gıda maddesinin karsilikli etkileşimlerine engel olan, kalay kaplama kalınlığı ince olan tenekelerin ve kalaysız teneke levhaların kullanımına olanak sağlayan, toksik etkisi bulunmayan, sıvı sir maddesidir. Genelde laklar; monomerler, çözücüler, yağlayıcılar, hizlandırıcılar, pigmentler ve dolgu maddelerinin uygun oranda karıştırılmasıyla elde edilirler. Laklı tenekeler; kiraz, visne, ilek, kırmızı erik, pancar ve benzeri renkli meyve ve sebzeler, et, balık, bezelye konserveleri, tursu ambalajlanmasında kullanılmaktadır.
- Polipropilen kaplı teneke ve alüminyum levhalar: Bu tür kaplar sterilizasyona dayanikli oldukları için, özellikle hazır gıdaların ve et-balık ürünlerinin ambalajlanmasında tercih edilmektedir. Ayrıca reel, bal gibi ürünler için de uygun olup, bunların dışında, eritme peyniri,

ketçap ve diğer domates ürünleri, hardal, konsantre çorbalar, mayonez, sebze-meyve suları gibi çeşitli agresif (çok yoğun) gıdaların ambalajlanmasında da, lakli kutulara göre daha avantajlı oldukları belirtilmektedir (Üçüncü 2000).

3.1.5.2. Alüminyum ambalajlar

Gıda sanayisinde en yaygın kullanılan ambalaj malzemelerinden birisi de alüminyumdur. Bu amaçla kullanılacak alüminyumun saf olması, yani en az %99,5 Al içermesi, diğer element oranlarının ise %0,3 Si, %0,4 Fe, %0,05 Ti, %0,05 Cu ve %0,07 Zn'nin üzerinde olmaması gerekir. %99,5 safliktaki alüminyum sıcak ve soğuk hadde ile çekilip şekillendirilebilen, yüzeyine baskı ve koruyucu lak uygulanabilen, toksik etkisi bulunmayan, kokusuz, tatsız bir malzemedir (Üçüncü 2000).

Külçe alüminyumdan, önce sıcak haddeleme yoluyla levha, bant ve folyo, sonra soğuk haddelemeyle daha ince malzemeler elde edilir. Söz konusu ürünler alüminyum endüstrisinde genelde aşağıdaki gibi tanımlanırlar (Üçüncü 2000):

- Alüminyum bantlar : Kalınlık $> 0,350$ mm
- Alüminyum ince bantlar: Kalınlık $0,350$ mm – $0,020$ mm
- Alüminyum folyolar: Kalınlık $< 0,020$ mm

Alüminyumun gıda sanayinde geniş ölçüde kullanılmasının başlıca nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Üçüncü 2000):

- Hafiftir.
- Yumuşak olup, iyi bir mekaniksel işlenebilirlik ve son derece üstün şekil verilebilme özelliği gösterir.
- $20 \mu\text{m}$ 'den daha kalın olanları kesinlikle yağ ve aromayı geçirmez.
- Genel olarak atmosferik korozyona önemli düzeyde dirençlidir.
- Toksik değildir.

- Isiyi yansıtma yetenekleri üstündür. Parlak yüzeyine düşen ısı radyasyonunun %90'ini yansıtma özelliği gösterir. Böylece ambalajlı ürünü, ortamda oluşabilecek kısa süreli sıcaklık dalgalanmalarından koruyarak, üründe istenmeyen sıcaklık artışlarının oluşumunu önler.
- Gıdaların ambalajlı olarak doldurulmaları sırasında, ürünlerdeki ısının hızlı bir şekilde dışarı çıkmasına ve dondurulmuş ürünlerin ambalaj içinde çözündürülmelerine veya tekrar pisirilmelerine olanak verir.
- Konserve gıdalarda sülfid karaması oluşmaz.
- Yeniden işlenebilir.

Alüminyum malzemenin olumsuz nitelikleri ise şu şekilde özetlenebilir

(Üçüncü 2000):

- 20 µm'den daha ince ve çıplak (laksiz, astarsız) folyolar gözeneklidir. Gözenekleri açık olan folyolar, oksijene ve su buharına duyarlı gıdalar için uygun değildir.
- Yumuşak olması, ona şekil vermeyi kolaylaştıran önemli bir özellikse de, kutuda dayanıklı bir kenet (bağlantı elemanı) oluşumu ve kutunun iç basınca dayanması açısından önemli bir olumsuzluğa yol açmaktadır.
- Alüminyum folyo ile ambalajlanmış olan gıdalar, mikrodalga fırınlarda yeterli düzeyde ısıtılamazlar. Ancak son yıllarda, bu tip fırınlarda ısıtılma ve pisirmeye uygun ambalajlar geliştirilmiştir (Üçüncü 2000).

4. YASAM DÖNGÜSÜ ANALIZI (LCA)

Çevre bilincinin artmasıyla birlikte endüstriler ve iş çevreleri, faaliyetlerinin çevreye ve topluma olan etkilerini değerlendirmeye başlamışlardır. Bu bağlamda endüstrinin çeşitli sektörlerinde yeşil ürünlerin üretilmesi ve yeşil proseslerin kullanılması ön plana çıkmıştır. 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. Bu bağlamda Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), geliştirilen önemli tekniklerden birisidir (Güler 2004).

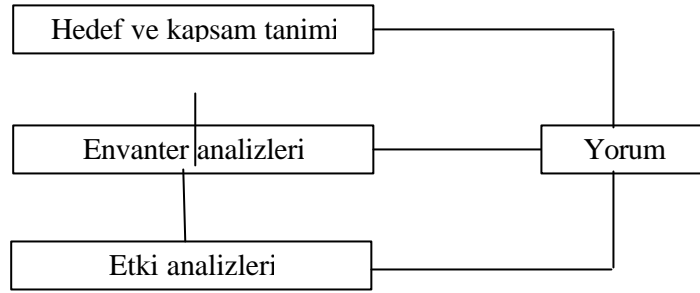
LCA, karar verici değil destekleyici bir mekanizmadır. Bu yöntem, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyecek olan potansiyel ekolojik gelişme sahalarının belirlenmesinde diğer yöntemlerle birlikte ele alınmalıdır.

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. Yaşam Döngüsü hareketinin amacı; sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirebilmek üzere ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca olan etkileri, riskleri ve karşılıklı ilişkileri (trade-off) değerlendirmek için pratik yöntemler geliştirmek ve bunların uygulanmasını yaygınlaştırmaktır (James 2003).

SETAC'ın çalışmaları sonucu, LCA'nın dört aşaması belirlenmiş ve geliştirilmiştir:

- Hedef ve kapsam tanımı
- Envanter analizleri
- Etki analizleri
- Yorum

Bu dört aşamanın birbiriyle olan etkileşimleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Bu aşamalara Sistemin Standardizasyonu ve Yapısı'nda (Bölüm 4.5) ayrıntılı olarak değinilecektir.

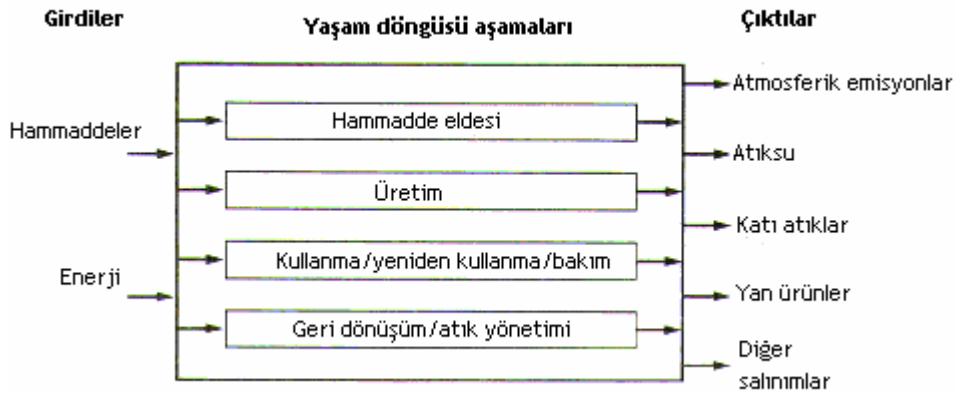


Sekil 4.1. Yasam döngüsü değerlendirmesi genel yapisi (James 2003)

4.1. LCA Nedir?

Yasam Döngüsü Analizi (Life Cycle Analysis) ve Yasam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment), bir eylemin tüm çevresel boyutlarını; hammaddenin doğadan eldesinden, tüm atıklar tekrar doğaya dönene kadar değerlendiren bir sistemdir. Bu değerlendirme, ürünün islenmesinde olduğu kadar enerji dahil olmak üzere hammaddenin üretilmesi, kullanılması ve final bertarafı sırasında havaya, suya ve toprağa olan tüm etkileri içerir. LCA'lar 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 (Sekil 4.2). 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 besikten mezara kadar olan toplam analizini verir (Bishop 2000).

Bu yöntemin hem yasam döngüsü değerlendirmesi ve hem de analizi olarak kullanılmasının nedeni yapısından kaynaklanır. Çünkü LCA'yi oluşturan bileşenler hem envanter analizini hem de etki değerlendirmesini içerdiğinden, terminolojide bu şekilde kullanılmaktadır.

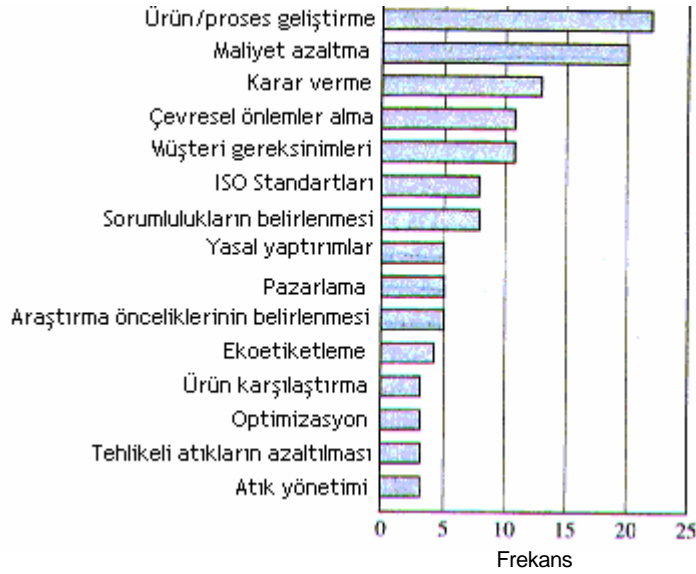


Sekil 4.2. LCA'nin asamalari ve sinirlari (Bishop 2000)

Yasam Döngüsü Değerlendirmesi'nin önemli bir özelliği, üreticilerin tasarımdan bertarafa kadar ürünlerinden kaynaklanan kirliliğin sorumluluğunu almalarıdır. Bu özellik LCA'yi, “sorumluluk, hammadde eldesiyle başlar, tamamlanmış ürünün satışıyla biter” şeklindeki geleneksel düşünceden ayıran ana etmendir (Bishop 2000).

LCA'da bir ürünün veya prosesin yaşam aşamalarında ortaya çıkan tüm etkiler ele alınır. Bu nedenle LCA'lar, 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 sağlamak ve hangi ürünün kullanılacağına dair karar verme prosesine yardımcı olmaktadır (Bishop 2000).

LCA, birçok amaç için kullanılabilir. Sekil 4.3'de verilen LCA'nin 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 (Bishop 2000).



Sekil 4.3. LCA'nin uygulama alanlarına göre kullanım sikligi (Bishop 2000)

4.2. LCA'nin Tarihçesi

LCA, 1960'li yılların sonunda küçük bir grup insan tarafından kullanılan bir kati atık belirleme sisteminden geliştirilmiş olup, Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından yönetilen Çevre Yönetim Sisteminin içine, ISO 14040 serisi olarak yerleştirilmiştir (James 2003).

1960'ların sonunda ve 1970'lerin başında Kaynak ve Çevresel Profil Analizleri (REPAs) LCA'nin ilk habercisi 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. LCA'ya ilgi Gaines'in (1981) çalışmaları ve Lundholm ve Sundstorm'un (1985) karar verme ve metod belirleme için kullanılan REPA çalışmalarıyla 1980'li yıllarda devam etmiştir. REPA çalışmalarında hammadde talepleri, enerji girdileri, atık üretimi konuları ele alınmıştır. Çevresel etkinin sınıflandırılması yoluyla daha kompleks analiz yapma girişimleri LCA metodolojisinin gelişim sürecinde sonradan olmuştur (Güler 2004).

LCA konusunda yapılan ilk çalışmalardan bir diğeri de 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

ülke, petrolün yerini alabilecek ürünleri keşfetmeye başlamıştır. Petrole alternatif yakıt arama çalışmalarından birisi de etil alkol-karbonhidrat biyokütlesinin fermentasyonu 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 sırasında çok yoğun enerji kullanılmasıdır. Net enerji analizi, son ürünün enerji değeri ile biyoetanolün yaşam döngüsüne giren kümülatif enerjinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Bunun gibi bir karşılaştırma, alternatif bir yakıtın konvansiyonel enerji kaynaklarının yerini aldığı ve yaygınlaştığının gerçek bir göstergesidir. Sonuç olarak bu enerji analiz teknikleri, yakıt ve enerji sistemleri için gelişmiş LCA'ların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu LCA'lar günümüzde Tam Yakıt Döngüsü Değerlendirmesi (FFCA) olarak adlandırılmaktadır (Güler 2004).

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

1990'ların sonlarında ISO, ISO 14000 Çevre Yönetim Standartlarına yardımcı olacak LCA'larda, ISO 14040 serilerini yayınlamıştır. Bu seriler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. ISO 14040 Çevre Yönetimi – LCA Serisi (http-20)

Sayı	LCA Standardinin Adı	Durum
ISO 14040	Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme -Prensip ve Çerçeve	1.baskı (1997)
ISO 14041	Çevre Yönetimi- Hayat Boyu Değerlendirme-Amaç ve Kapsam Tanımı ile Envanter Analizi	1.baskı (1998)
ISO 14042	Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Etki Değerlendirmesi	1.baskı (2000)
ISO 14043	Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme - Hayat Boyu Yorumu	1.baskı (2000)

4.3. LCA Türleri

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

- Kavramsal
- Basitleştirilmiş
- Detaylı

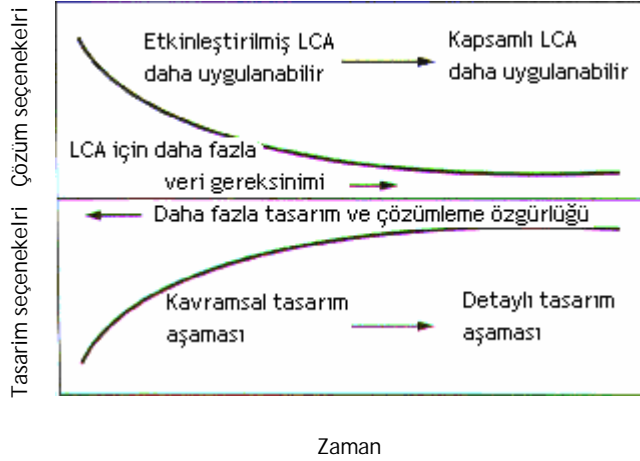
LCA'nin geliştirilmesine ve standardizasyonuna dayanan birçok çalışma, detaylı LCA'ya yöneliktir. Pratikte, metodolojiye uygun çok az detaylı LCA çalışması yayımlanmıştır.

Bazı uygulamalardaki detay seviyesi Çizelge 4.2'de; kavramsalardan detaylıya doğru, tasarım ve çözüm seçeneklerine bağlı olarak değişen tasarım aşamaları ise Şekil 4.5'de verilmiştir (EEA 1997).

Çizelge 4.2. LCA'nin bazı uygulamalarındaki detay seviyesi (EEA 1997)

Uygulama	LCA'nin detay seviyesi ^x			Açıklamalar
	Kavramsal	Basitleştirilmiş	Detaylı	
Çevresel tasarım	x	x		LCA'yla yasal bir bağlantı yok
Ürün geliştirme (development)	x	x	x	Karmasıklıkta büyük çeşitlenme
Ürün geliştirme (improvement)		x		Genelde var olan ürünlere dayanan
Çevresel bilgi (ISO tip II-etiketleme)	x			Bazen LCA'ya dayanan
Çevresel etiketleme (ISO tip I-etiketleme)	x			Sadece kriter geliştirmede LCA'ya gereksinim vardır
Çevresel mesaj (ISO tip III-etiketleme)			x	Envanter ve/veya etki değerlendirmesi
Pazarlama organizasyonu		x	x	LCA'nin çevresel raporlamaya dahil edilmesi
Strateji planlama	x	x		LCA bilgisinde giderek artan bir gelişme
Yeşil pazarlama	x	x		Ekoetiketlemedeki LCA kadar detaylı değil
Depozito uygulamaları		x		LCA'daki sayısı azaltılmış parametreler genellikle yeterlidir
Çevresel (yeşil) vergiler		x		LCA'daki sayısı azaltılmış parametreler genellikle yeterlidir
Ambalajlar arasındaki seçimler	x		x	Detaylı envanter. Kapsam

x: En çok kullanılan LCA türleri



Sekil 4.4. Tasarım aşamasının fonksiyonları olarak tasarım seçenekleri ve LCA çözümleri (Bishop 2000)

4.3.1. Kavramsal LCA

Kavramsal LCA, LCA'nin ilk ve en basit halidir. Bu seviyede, yaşam döngüsü yaklaşımı, çevresel bakış açılarının bir değerlendirmesini, sınırlı ve genellikle nitel envantere dayalı olarak yapmak için kullanılır. Bir kavramsal LCA genellikle, "Bu ürün, rakip ürünlerden çok farklı mı?" ya da "Bu ürünün seçilen çevresel amaçlar yönünden net bir yararı veya eksigi var mı?" gibi temel sorulara cevap verme niteliindedir. 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 (EEA 1997).

Kavramsal LCA'nin sonuçları, örnek olarak, hangi bileşenin veya materyalin, en yüksek çevresel etkiye sahip olduğunu ve nedenini belirten nitel ifadeler veya basit puanlama sistemleri kullanılarak sunulabilir (EEA 1997).

ISO standartlarının gereksinimlerinden, kavramsal LCA'ların, pazarlama ve sonuçlarının kamuya duyurulması amacıyla kullanımının uygun olmadığı açıkça görülmektedir. Fakat, bir kavramsal LCA karar vericiye, hangi ürünün çevresel etkileri azaltma yönünden diğerlerine göre avantajlı olduğu konusunda yardımcı olabilir (EEA 1997).

4.3.2. Basitleştirilmiş LCA

SETAC Avrupa LCA Değerlendirme ve Düzenleme Çalışma Grubu, basitleştirilmiş LCA'yi şöyle tanımlamaktadır: ürünlerle ve hizmetlerle ilgili nicel ve/veya nitel verileri, standart ulasim ve enerji birimlerini kullanarak, yaşam döngüsünde çevresel açıdan en önemli etkilere veya asamalara yoğunlaşan, basit bir değerlendirmenin uygulandığı, tüm yaşam döngüsünü kapsayan fakat yüzeysel olan, kapsamlı bir LCA'yi eleyerek daha da basite indirgeyen, bir LCA uygulamasıdır (EEA 1997).

Basitleştirilmiş LCA'nin 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. LCA'nin basitleştirilmesi birbirleriyle bağlantılı olan üç aşamadan oluşur (EEA 1997):

- **Eleme:** Yaşam döngüsünün aşamalarını veya önemli olan ya da veri eksikliği bulunan temel girdileri belirlemektir.
- **Basitleştirme:** Eleme aşamasından bulunanların, sistemin veya temel girdilerin önemli kısımlarındaki ileri düzeyde çalışmalara yoğunlaşmak için kullanılmasıdır.
- **Güvenilirliğin değerlendirilmesi:** Basitleştirmenin, tüm sonuçların güvenilirliğini önemli derecede azaltıp azaltmadığının kontrol edilmesidir.

Basitleştirilmiş LCA için, "Screening LCA" ve "Streamlined LCA" terimleri genellikle eşanlamli kullanılmakta ancak, net bir ayırım yapılması gerekmektedir. Bir basitleştirme aşaması olan eleme, bir ürün sisteminin ihmal edilebilecek aşamalarını (yaşam döngüsü aşamalarını) belirlemeye yardımcı olur. Prensip olarak, belli aşamaları olmayan bir elemeli LCA, tüm yaşam döngüsünü veya tüm önemli çevresel bakış açılarını içermediği gibi tüm anahtar amaçları belirlemek için de yeterli olmayabilir. Bir diğer deyişle, basitleştirilmiş LCA

içerisindeki eleme basamagi kapsam bakımından geniş, fakat detayda yüzeysel olmalıdır (EEA 1997).

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

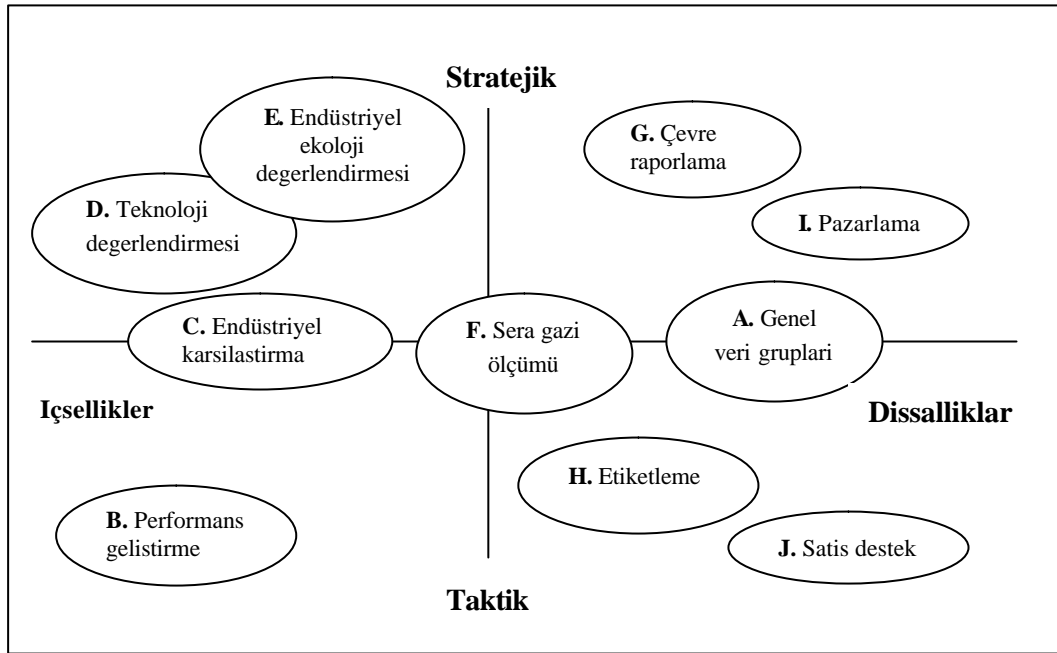
Basitleştirilmiş LCA'lar ISO standardinin (ISO 14040) gereksinimlerine uygun olarak raporlandıklarında kurum dışına açık olarak kullanılabilirler. Buna rağmen, çoğu basitleştirilmiş LCA, raporlama için resmi gereksinimler olmaksızın içsel amaçlarla kullanılmaktadır (EEA 1997). Sonuçların yanlış yorumlanmasını önlemek için basitleştirilmiş LCA, en azından aşağıda verilen standartları sağlamalıdır:

- Çalışma, bir kısım envanteri ve aynı zamanda etki değerlendirmesini ve yorumu içermelidir.
- Çalışmada belirlenen sınırlar ve uygulanacak olan LCA metodolojisinin yöntemleri açıkça ortaya koyulmalıdır.

Çalışmanın sonuçları, ürünün detaylı LCA'siyle aynı sonuçları vermelidir (Bishop 2000).

4.4. Kullanım Alanları ve Uygulamalar

LCA, ambalajlar, yiyecekler, deterjanlar, yapılar, atık yönetim senaryoları, ulaşım ve yakıtlar vb. gibi çok farklı ürünlere ve süreçlere uygulanabildiği gibi, ürün ve süreç geliştirme, stratejik karar verme, eko-tasarım, ürün karşılaştırma, eko-etiketleme, pazarlama ve kamusal faaliyetler gibi bir dizi uygulama için de kullanılabilen ve olup, son yıllarda artan bir şekilde planlama ve projelendirme aracı olarak da kullanılır hale gelmiştir. Şekil 4.5'de LCA'nin farklı kullanım alanları görülmektedir (James 2003).



Sekil 4.5. LCA'nin uygulama alanları (James 2003)

Günümüzde, ürünlerin yaşam döngüsü, farklı uygulayıcılar için farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Örneğin (James 2003):

- Politik kararlarda
- Eko-etiketleme için gerekli olan kriterlerin belirlenmesinde
- Alıcılar için yeşil noktali ürünleri tercih etme önerilerinde
- Sirket kararlarını desteklemede ve
- Sirketlerde ürün geliştirilmesinde

LCA yönteminden sıklıkla yararlanılmaktadır (James 2003).

LCA aynı zamanda toplumun çeşitli sektörlerinde tüketim ve yaşam tarzı seçenekleriyle ilgili karmaşık iş stratejileri ve devlet politikalarına da uygulanmaktadır (James 2003). LCA'nin bu uygulamalarda kullanımına örnek olarak, Avrupa Birliği'ne üye devletler tarafından Avrupa Birliği Ambalaj Direktifi'ne bağlı olarak yürütülen tek kullanımlık ambalaja karşı yeniden kullanılabilirliğin karşılaştırılması verilebilir (James 2003).

Frank ve Rubik's tarafından 1997'de dört Avrupa ülkesindeki (Almanya, İtalya, İsveç ve İsviçre) LCA adaptasyon denemeleriyle ilgili yaptıkları bir çalışmaya göre, şirketlerin LCA'yi kullanma nedenleri, maliyetlerde tasarruf

yapmak ve ürünlerle ilgili problemleri gidermektir. Aynı zamanda İsviçre’de LCA’yi uygulayan şirketlerin dörtte birinin, 250’den az çalışanı bulunan küçük ve orta ölçekli işletmeler olduğu, diğer üç ülkede ise 5000’den fazla çalışanı bulunan büyük şirketlerin LCA’yi uyguladığı belirlenmiştir. LCA uygulamalarında şirketlerin karşılaştıkları zorluklar; verinin toplanması ve kalitesi, sistem sınırlarının belirlenmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanmasıdır. Şirketin ekonomik, teknik ve içsel politika düzenlemeleri, şirketin LCA aktivitelerine adaptasyon derecesine katkıda bulunan faktörler olarak tanımlanmakta olup, LCA kullanımının yararlarının uzun vadede görüldüğü belirtilmiştir (James 2003).

Ürünlerin geliştirilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması için yapılan yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmaları şirketin ve çalışanlarının çevre bilincini de geliştiren bir yöntemdir (Danish EPA 2002).

Bilindiği üzere, günümüzde sürdürülebilir kalkınma hem politika hem de iş dünyasının gündemindedir. Nitekim yapılan bir çalışmada şirketlere ve uygulayıcılara en önemli LCA uygulaması sorulduğunda, en çok alınan cevap, “yeni ürünler üzerinde sürdürülebilirlik araştırması” olmuştur. Alınan ikinci cevap ise, “kollektif strateji”dir. Bu cevap, LCA’nin, şirketleri, ürünlerinin tüm yaşam döngüsü için bir strateji planlamaya teşvik edici bir unsur olması şeklinde açıklanabilir. Bu görüşü destekleyici olarak, uygulayıcılar ve araştırmacılar, aynı şekilde yaşam döngüsünün geleceğinin parlak olduğu konusunda da hemfikirdirler (EEA 1997).

Otoriteler, yaşam döngüsü değerlendirmesini ulusal eylem planlarını temel olarak kullanmaktadırlar. Örneğin, kâğıdın insinerasyonu yerine geri dönüştürülmesi kararı bu iki bertaraf sisteminin yaşam döngüsü değerlendirmesine dayanmaktadır. Örneğin, Danimarka Çevre Koruma Ajansı, teneke kutulara karşı Danimarka’nın hala kullanımda olan sise geri dönüşüm sistemine devam etmesini savunmak için geri dönüşüm sisteminin yaşam döngüsü değerlendirmesini kullanmıştır (James 2003). Ancak, yaşam döngüsü değerlendirmesi çok kesin yöntemlere dayanmadığından, bu yöntemler ve uygulamadan doğan sonuçlar halen tartışmaya açıktır. Bu nedenle yaşam döngüsü

değerlendirmesinin tam olarak ne anlama geldiği ve ne amaçla kullanılması gerektiği üzerinde dikkatle durulması gerekir (Danish EPA 2002).

4.4.1. Özel sektör uygulamaları

LCA'nin özel sektördeki kullanım alanları büyük çeşitlilikler göstermektedir. Bu çeşitlilik, büyük oranda, ele alınan şirketin ürün zincirindeki yerine ve yasal ya da pazar amaçlı olması gibi LCA eyleminin yürütülme amacına bağlıdır. İş çevresinde LCA aracı, prosesin kendisiyle olduğu gibi proses öncesi ve sonrasıyla da ilgili olan çevresel açıları anlamak için kullanılmalıdır. Bu anlayış, tedarik zinciri boyunca olan etkileri azaltmada sürekli gelişim için kullanılabilir. Yaşam döngüsü envanterleri, çoğunlukla kimyasal, plastik, metal ürün üreticileri tarafından, karşılaştırma yapmada veya atık yönetimlerini 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 çevreye en az zarar verici ürünleri tasarlamak ve üretmek için birleştirmektedirler. Bu bağlamda, zaman, LCA'da önemli bir faktör haline gelmektedir. Dolayısıyla, analizlerin zaman gerektirmesi nedeniyle, rekabetçi pazarda ürün geliştirme döngüleri kısa olan, son ürünü üreten şirketler için, karşılaştırmalı LCA uygulamaları mantıklı değildir (EEA 1997).

4.4.1.1. Ürün geliştirme

Üretim aşamasında ortaya çıkan atıklar, prosesin doğrudan doğruya olan olumsuz bir etkisidir. Bu durum, düzenli bir LCA çalışması ve sonuçların uygulanması ile en aza indirilebilir veya giderilebilir. Bu tür çalışmaların çok sayıda başarılı örnekleri bulunmaktadır. Örneğin; büyük elektronik şirketlerden birisi olan Motorola, müşterilerinin çevresel taleplerini karşılamak üzere LCA'yi karar verme sistemlerine uygulayarak tüm ürünlerinin tasarımlarına çevresel zorunlulukları entegre etmeye çalışmaktadır. Bu şirket, ürünün tasarımının konsept geliştirme aşamasına yoğunlaşmanın en büyük kirlilik önleme eylemi olduğunun farkına varmıştır. Bu konsept geliştirme aşamasında, çevresel

değerlendirmeler yapmak için gerekli olan detaylı bilgi eksikliğini gidermek için Motorola matris tabanlı basitleştirilmiş bir yöntemi geliştirmiş, detaylı LCA'yi ise üretim aşaması için kullanmaya başlamıştır (Bishop 2000).

4.4.1.2. Pazarlama ve reklam

Pazarlama, tüketicinin beklentileri ve ihtiyaçlarıyla uyumlu olan ürün özelliklerinin ve yeteneklerinin gösterilmesinin geleneksel bir yoludur. Çevresel bilinç arttıkça, tüketiciler tarafından malların ve hizmetlerin çevresel özellikleri daha çok dikkate alınmaktadır. Bu durum, bir çok şirket tarafından pazar paylarını arttırmak için kullanılmakta ve çevresel pazarlamaya yönelik kriterler ve kılavuzların geliştirilmesine öncelik verilmektedir (EEA 1997).

Çevresel pazarlamanın dört türü aşağıda verilmiştir:

- *Çevresel etiketleme (ISO Tip I-etiketleme)*: Bir çevresel etiket (ekoetiket), çevreyle dost ürünlerin onay damgası olarak görülebilir ve bu nedenle pazarlama açısından çekici olabilir. Ekoetiketler aynı zamanda tarafsız olarak basitçe tüketiciye bilgi tasımlamaktadır. Ulusal ve uluslararası ekoetiketleme yapılarının genel amacı, tüketici tarafından açıkça görülür bir şekilde çevresel etkisi daha az olan ürünlerin üretimini sağlamaktır. ISO, Tip I etiketleme için "ISO 14020 Çevresel Etiketler ve Mesajlar- Genel Prensipler Standardi"ni geliştirmiştir.
- *Çevresel bilgi (ISO Tip II-etiketleme)*: Çevresel bilgi, ISO (ISO/DIS 14021 ve ISO/CD 14022) tarafından, bir ürünün veya hizmetin çevresel etkilerini, açıklayıcı bilgi, sembol veya grafik şeklinde ürünün üzerinde belirten etiket veya tanımlama olarak ya da ambalaj etiketleri, ürün broşürü, teknik bültenler, reklam ve benzeri uygulamalar olarak tanımlanmıştır. Çevresel bilgiler genellikle tek boyutludur ve "Kürsüzsüz benzin", "CFC içermeyen saç spreyi", "Fosfat içermeyen deterjan" gibi özellikleri belirtir (EEA 1997).
- *Çevresel mesajlar (ISO Tip III-etiketleme)*: Çevresel etiketin veya mesajın tanımı için bu en yeni ISO önerisi, bir ürünün veya hizmetin çevresel bilgilerini, açıklayıcı bilgi, sembol veya grafik şeklinde

ürünün üzerinde belirtmek veya ambalaj etiketleri, ürün broşürü, teknik bültenler, reklam ve benzeri uygulamalar olarak tanımlanmıştır. Çevresel mesajlar sonuçları, bir ürünün yaşam döngüsü araştırmasından, tüketicilerin kendi karar verme mekanizmasına dönüştüren bir eko-pazarlama aracı olarak kabul edilebilir. Bu düşünce, gıda ürünleri üzerindeki mesajlarla prensipte aynıdır fakat, henüz tam olarak geliştirilmemiştir. Eğer benzer bir düşünce geliştirilirse, çevresel mesajların tanımı, “LCA bulgularının ön tahmin indeks dizinleri halinde raporlanan ürün bilgi etiketleri” şeklinde olabilir. Önceden belirlenmiş çevresel etkiler, genelde bar diyagramı gibi grafik gösterimi şeklinde verilir. Eko-etiketlerden farklı olarak çevresel mesajlar, ürünün aynı işlevi gören ürünlere göre daha iyi ya da daha kötü olduğuna dair bir bilgi içermemesi ve dolayısıyla tarafsız olmasıdır. Diğer bir yandan, iki ya da daha fazla çevresel mesaj, iki ürün arasındaki farkı ortaya koyabilir ve çevre bilinci olan tüketiciler bu etiketlere bakarak ürünler arasında seçim yapabilirler. Çevresel mesajların kullanılabilmesi için LCA'nin kullanılması ön koşuldur.

- *Pazarlama organizasyonu*: Çevresel performansın klasik pazarlaması, yukarıda da bahsedildiği gibi ürünlerle yürütülmektedir. Buna rağmen, ISO 14001, Çevre Yönetim Sistemleri sertifikalarını alan şirketlerin sayısı arttıkça, bazı pazarlama girişimleri kendiliğinden şirketin çevresel gücüyle olmaktadır. İşletmeler sertifikasyon için gereklilikleri yerine getirirken aynı zamanda çevre yönetim sistemleri yoluyla LCA prosedürlerinin ve yaşam döngüsü düşüncesinin uygulanmasını da biçim vermektedir (EEA 1997).

4.4.1.3. Stratejik planlama

Çevresel bakış açılarının stratejik iş planlarıyla birleştirilmesi, iş dünyasının ortak geleceğini oluşturmaktadır. Şirketleri bu kararı vermeye yönlendiren birçok faktör vardır. Bunlar (EEA 1997):

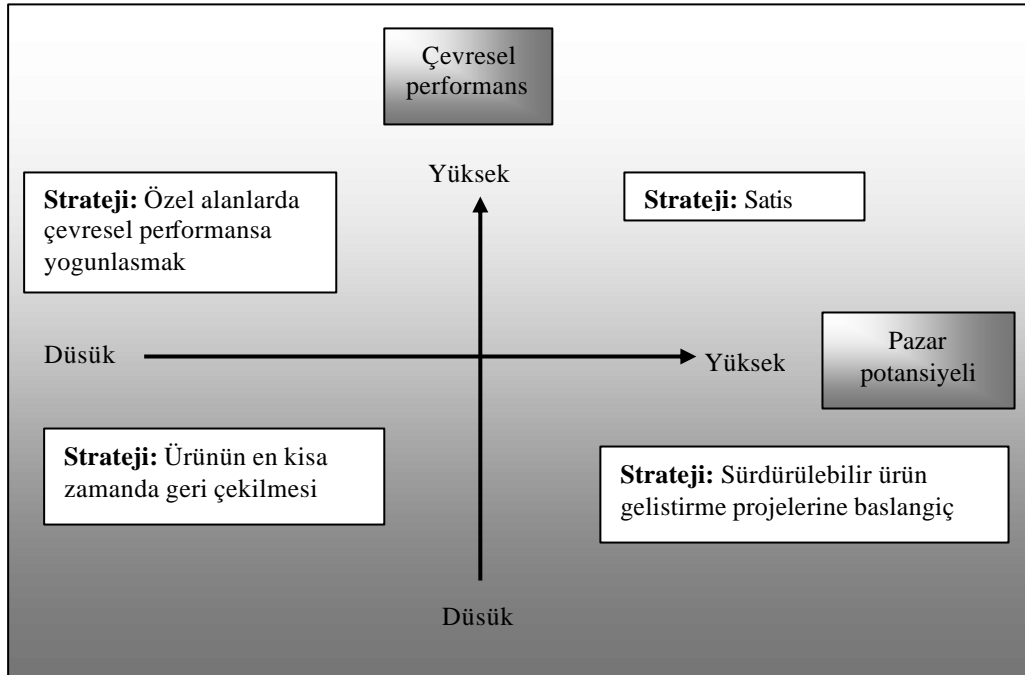
- Tüketici ihtiyaçları

- Yasalarla uyum
- Çevresel gelişme için toplum ihtiyaçları
- Tedarigin güvenligi
- Ürün ve pazar seçenekleri (EEA 1997).

Çevresel performans, ürünlerin yasalara göre sağlanması gereken zorunlu bir özelliği olmaktan çıkıp, pazarda büyük avantaj sağlayan bir özellik haline gelmeye başlamıştır. Bu açıdan LCA yaklaşımı çok önemli bir araçtır. Bu araç, bugün ve yakın gelecekte, tüketicilerin, çevresel ihtiyaçlarını karşılama açısından hem varolan ürünlerle ilgili olarak, hem de çevresel açıdan yararlı ürün oluşturma pazar payındaki yerini belirlemede kullanılabilir. Şekil 4.6'da, bazı ürün stratejilerinin çevresel performans ve pazar potansiyelleriyle ilgisi verilmiştir. LCA bilgisi, karar verici kişilerin, ürünlerinin ve hizmetlerinin çevresel açıdan artı ve eksilerini görmelerine yardımcı olabilir. Bu aşamada LCA sonuçlarının şirket yönetimi ve çalışanları tarafından da anlaşılması çok önemlidir. Fakat şirketlerdeki yöneticiler ve aynı zamanda alt kadrolarda çalışan kişilerin genelde herhangi bir çevresel eğitimleri olmadığı için şirket içinde çevreye dayalı eğitimler düzenlenmelidir. LCA'yi kullanarak, şirketin kendine olan güvenini maksimum hale getirmek için oldukça detaylı bir yaklaşım ele alınmalıdır. Fakat, bazı iş kararları bekleyemediğinden, kısa vadede basitleştirilmiş LCA uygulanarak, problemlerin ve pazardaki ürünler arasındaki farkların belirlenmesi sağlanabilir. Uzun vadede ise, şirket içinde yapılacak daha sistematik bir LCA çalışması, bir veri tabanı oluşturulmasını ve tüm aktiviteler için uygun kararlar verilmesini sağlayacaktır (EEA 1997).

4.4.1.4. Proses seçimi ve modifikasyonu

LCA, sık sık en iyi kirlilik önleme ve atık azaltma potansiyelini belirlemek üzere alternatifler arasında seçim yapmak için kullanılmaktadır. Bu ise bir ürün için detaylı bir LCA yaparak veya geliştirilmiş üretim prosesini değerlendiren bir çalışmaya yoğunlaşarak gerçekleştirilebilir. Proses modifikasyonlarına dayanan bir LCA çalışması, üretim prosesinden bağımsız olarak, son ürünün aynı olması ve aynı çevresel etkilere sahip olması nedeniyle basitleştirilebilir.



Sekil 4.6. Çevresel performans ve pazarlama potansiyeline bağlı ana ürün stratejileri (EEA 1997)

Bu tür bir çalışma, ürünü/hammaddeyi depolamadaki farklılıklar, üretimdeki farklı enerji ihtiyaçları, üretim verimleri, farklı yan ürünler ve atıklar gibi aşamalarla sınırlandırılabilir (Bishop 2000).

Örneğin; IBM, düzenli olarak, bilgi teknoloji ekipmanlarında kullandığı malzemelerin çevresel etkilerini değerlendirme çalışmaları yapmaktadır. IBM tarafından yapılan bir çalışmada, PC monitorlerinde kapak malzemesi olarak kullanılan geri dönüştürülmüş PVC miktarındaki artışa bağlı etkilerin belirlenmesi amaçlanmış ve kullanılmış ve atık monitörlerin sahada IBM tarafından toplandığı, gemiyle PVC geri dönüşüm tesisine gönderildiği ve tekrar IBM'e yeni monitörler yapmak üzere döndüğü bir kapalı sistem geri dönüşüm seçeneğini, birisi hurda veya iskarta ürünlerin düzenli depolanması, diğeri ise enerji geri kazanımlı insinerasyon olmak üzere iki ayrı bertaraf seçeneği ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada geri kazanım ve bertaraf seçenekleri üzerine yoğunlaşıldığı için LCA'nın kapsamı da bu sistemlerle sınırlı tutulmuştur (Sekil 4.7) (Bishop 2000).

4.4.2. Kamusal uygulamalar

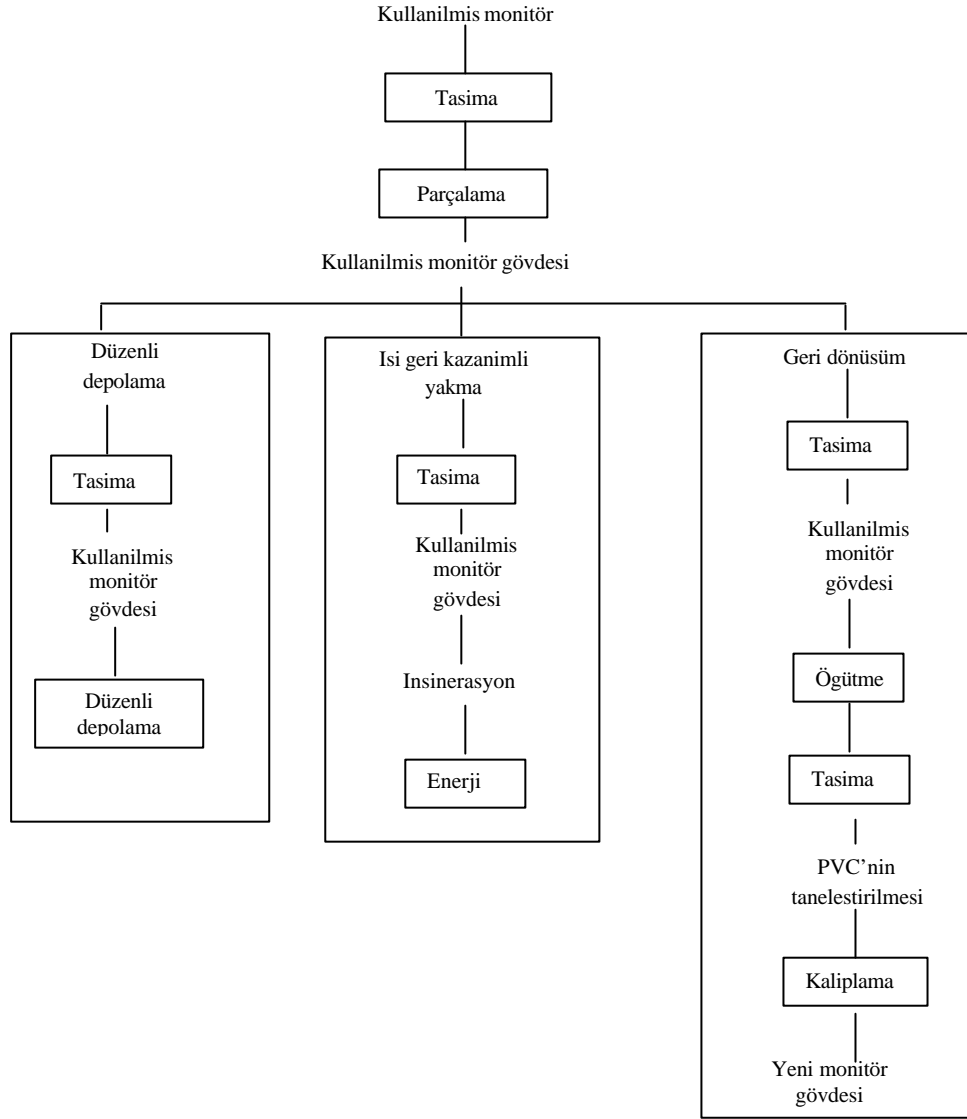
Sürdürülebilir kalkınma, 1992 Rio Sözleşmesi'nden bu yana çoğu devletin kalkınma planlarında ana madde olarak ele alınmakta, yaşam döngüsü yaklaşımının daha sürdürülebilir bir geleceğe doğru yapılacak eylemlerde kullanılmasının gerekliliği açıkça ortaya çıkmaktadır. LCA, tüm sorulara cevaplar vermeyen fakat yönlendirmelerde bulunan bir yaklaşım veya stratejik bir araç iken, risk değerlendirmesi, çevresel etki değerlendirmesi, fayda maliyet analizi ve bunlar gibi diğer araçlarla kullanıldığında ülkelerin sürdürülebilirlik politikalarını etkileyebilecek bir araç olarak görülebilir (EEA 1997).

4.4.2.1. Kamusal uygulamalarda çevresel etiketleme

LCA'nin, esit 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 vermenin bir parçası olarak uygulanması yavaş ilerleyen bir süreç olup, bu yöndeki gelişmeler devam etmektedir. Örneğin ABD'de 1993 yılında imzalanan ve EPA'nin "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 sistematiğine dayanmaktadır (Bishop 2000).

4.4.2.2. Diğer kamusal uygulamalar

LCA, genel politika stratejilerinin geliştirilmesinde değerli bilgiler verebilir. Örneğin, elektrik üretimi için yakıt seçimi, büyük hacimli maddelerin trenle, gemiyle veya karayoluyla taşınmasının değerlendirilmesi, atık yönetim seçeneklerinin değerlendirilmesi, özel bir atığın en iyi şekilde arıtılması, plastikler için yeni geri dönüşüm tekniklerinin çevresel değerlendirilmesi gibi.



Sekil 4.7. IBM tarafından üretilen PVC monitörler için üç farklı bertaraf senaryosu
(Bishop 2000)

LCA'nin devlet tarafından kullanılma amaçlarında en göze çarpan sektör ambalajlama sanayisidir. LCA'lar nadiren hangi sistemin çevresel açıdan tercih edilebilir olduğuna dair net cevaplar verseler de, ambalajlar üzerine yapılan LCA çalışmaları, birçok ülkede politik alanda bir karar destek sistemi olarak kullanılmaktadır. Aynı amaca yönelik ürünlerin, farklı ülkelerdeki LCA'larının karşılaştırılması durumu ise oldukça karışıktır. Bu farklılıklar, coğrafi sınırların,

kosullarin veri kalitesinin ve degerlendirme yönteminin farklıligından ileri gelebilir (EEA 1997).

4.4.3. Kullanım Sınırlamaları

LCA sisteminin kullanımında karşılaşılan sınırlamalar şu şekilde sıralanabilir (James 2003):

- Etkilerin yerinin tam olarak belirlenememesi,
- Endüstriyel aktivitelerin veya diğer proseslerin fiziksel karakteristikleri üzerine yoğunlaşılması,
- Çevresel ve ekonomik proseslerin dogrusal olarak kabul edilmesi,
- Ürünlerin çevresel etkileri ve ekonomileri üzerine odaklanması ve sosyal ve diğer özelliklerin incelenmemesi,
- Teknik tahminleri ve deger seçeneklerini içermesi,
- Kaliteli veriye ulaşamaması (James 2003).

En ileriki sınırlamaysa parasal verinin ele alınmamasıdır. LCA'nin proses ve ürün modifikasyonlarını, alternatif ürünleri ve ürün dizaynını etkileyen karar verme yapısını yürütmek için maliyetlerle desteklenmesine yönelik görüşler giderek artmaktadır. Buna yönelik olarak Toplam Maliyet Analizi (TCA), Yaşam Döngüsü Maliyeti (LCC) ve Çevresel Muhasebe (Environmental Accounting) gibi birçok farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Ayrıca, alternatif ürünlerin ve ürün tasarımının ekonomik sonuçlarının da LCA'nin içinde ele alınması gereklidir. LCC'yi, LCA'nin dışında bırakmanın sonuçları özet olarak söyle verilebilir (James 2003):

- LCA'nin karar vermek için etkisinin sınırlı olması,
- Maliyetin çevresel gelişmeler üzerindeki etkisinin belirlenmesini de engelleyen çevresel ve mali sonuçlar arasındaki ilişkinin yakalanamaması ve
- Şirket açısından alternatif kararlara neden olabilecek, ekonomik açıdan önemli ya da ekonomik eksenli çevresel kararların alınamamasıdır (James 2003).

4.5. Sistemin Standardizasyonu ve Yapisi

4.5.1. Hedef ve kapsamın belirlenmesi

Hedef ve kapsam tanımı, yaşam döngüsü değerlendirmesinin ilk aşaması olup aşağıda verilen ana bileşenleri içermektedir:

- Hedef
- Kapsam
- Fonksiyonel birim (işlevsel birim)
- Sistem sınırları
- Veri kalitesi
- Kritik gözden geçirme

Hedef ve kapsam tanımı, LCA'nin sonuçları üzerinde güçlü bir etkiye sahip olması nedeniyle kritik bir bölüm olarak ele alınmaktadır (EEA 1997).

4.5.1.1. Hedef

LCA'nin hedef tanımı aşamasında; yaşam döngüsü değerlendirmesinin amacı, tasarlanan uygulama, çalışmanın gerçekleştirilme sebepleri ve hedef kitle (çalışmanın sonuçlarının kime iletileceği), şüpheye yer vermeyecek şekilde ifade edilmelidir (TSE EN ISO 14041 2003). Hedef tanımı aynı zamanda sonuçların kullanılmasındaki niyeti ve sonuçların kullanıcılarını da belirtmelidir. Hedefe ulaşmak zorunda olan uygulayıcının, çalışma sayesinde sağlam kararlar oluşturabilmesi için, çalışmanın amacını detaylı olarak anlaması ve anlatması gerekmektedir.

Hedef tanımı, çalışmanın karmaşıklık derecesini ve raporlama gereksinimlerini belirler. Şeffaflık, tüm LCA çalışmaları için zorunludur. LCA çalışmasının hedef kitlesi de raporlama yönteminin seçilmesi açısından ayrıca önemlidir. Hedef, yorum aşamasının bir bölümü ve çalışmadan elde edilenlerin bir sonucu olarak yeniden tanımlanabilir (EEA 1997).

4.5.1.2. Kapsam

LCA'nin kapsamının belirlenmesi, sistemde yer alacakları ve kullanılacak detaylı değerlendirme yöntemlerini içeren bilgilerle, değerlendirmenin sınırlarını ortaya koyar. Kapsam tanımında, aşağıda verilen maddeler ele alınmalı ve açıkça belirtilmelidir:

- Sistemin/Sistemlerin işlevi
- Fonksiyonel birim
- Çalışılacak olan sistem
- Sistemin sınırları
- Paylaştırma (allocation) prosedürleri
- Etki çeşidi, etki değerlendirmesi yöntemi ve bundan sonraki yorum aşaması
- Veri gereksinimi
- Varsayımlar
- Sınırlamalar
- Başlangıç veri kalitesi gereksinimleri
- Kritik gözden geçirme
- Çalışma için gerekli olan raporun türü ve formatı

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

4.5.1.3. Fonksiyonel birim

Fonksiyonel birimin veya performans özelliklerinin belirlenmesi, bir ürünün (sistemin) geliştirilmesi dahil, iki veya daha fazla ürün karşılaştırmalarına bir ölçü konulabilmesi 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. Fonksiyonel birimin amaçlarından birisi de normalize edilen giriş ve çıkış verilerine bir referans sağlamaktır. Sistemin fonksiyonel birimi, açıkça belirlenmeli ve aynı zamanda ölçülebilir olmalıdır. Fonksiyonel birim cinsinden ifade edilen veriler, referans akisi verir (EEA 1997). Referans akis, fonksiyonel birimin fonksiyonu olarak ifade edilen ve verilen bir ürün sistemindeki işlemlerden elde edilmesi gereken çıktıların miktarıdır (TS EN ISO 14041 2003). Sistemler arasındaki karşılaştırmalar, aynı fonksiyon için, aynı fonksiyonel birim tarafından, eşit referans akis baz alınarak yapılmalıdır. Örneğin, elleri kurutmak için kullanılan kâğıt havlu ve havali kurutucu sistemin karşılaştırılmasında; fonksiyonel birim bir çift elin kurutulması olarak seçilirse, kâğıt havlu ve havali kurutucu için referans akisler kurutulan bir çift el basına sırasıyla, kullanılan kâğıt havlu miktarı ve tüketilen enerji miktarı olarak verilebilir (TS EN ISO 14041 2003).

Fonksiyonel birimin belirlenmesinde ele alınması gereken üç faktör; ürünün verimi, ürünün dayanıklılığı, performans kalitesi standardidir.

Herhangi bir işlemin ilave fonksiyonlarının, fonksiyonların karşılaştırılmasında dikkate alınmadığı durumlar belgelendirilmelidir. Örneğin, A ve B sistemleri, seçilmiş bir fonksiyonel birim tarafından temsil edilen x ve y fonksiyonlarını yerine getirmekte, fakat sistem A, aynı zamanda, fonksiyonel birimde temsil edilmeyen z fonksiyonunu da yerine getirmektedir. Bu durumda z fonksiyonunun bu fonksiyonel birimin dışında bırakıldığı belgelendirilmelidir. Bir alternatif olarak, z fonksiyonunun verilmesine bağlı olan sistemler, sistemleri daha karşılaştırılabilir yapmak için sistem B'nin sınırına ilave edilebilir. Bu durumlarda, seçilen işlemler belgelendirilmeli ve doğrulanmalıdır (EEA 1997).

4.5.1.4. Sistem sınırları

Sistemin sınırları, prosesleri/işlemleri (üretim, nakliye ve atık yönetim prosesleri v.b.) ve LCA'da ele alınacak olan girdi ve çıktıları tanımlar. Sistem sınırlarının tanımlanması, coğrafi sınırlar, yaşam döngüsü sınırları (yaşam döngüsündeki sınırlamalar v.b.) ve teknoferle (insan teknolojisi) biyosfer arasındaki sınırları içeren oldukça öznel bir işlemdir. Sistem sınırlarının

tanımlanmasındaki bu öznellik nedeniyle, tanımlanan prosesin seffaflığı ve varsayımlar oldukça önemlidir. Başlangıç sistem sınırları, modeli oluşturulacak sistemde yer alacak birim işlemleri tanımlar. İdeal olarak ürün sistemi, kendi sınırlarındaki temel akışlar olan girdi ve çıktılar şeklinde modellenmelidir (EEA 1997). Ancak birçok durumda, bu tür kapsamlı bir çalışmayı yürütmek için yeterli zaman, veri veya kaynak olmamaktadır (TS EN ISO 14041 2003). Kararlar, çalışmayla modellenecek birim işlem, çalışılacak bu birim işlemin detay seviyesi ve değerlendirilebilecek olan çevresel etkiler dikkate alınarak verilmelidir. Kaynakların (zaman ve veri), çalışmanın sonucunda dikkate değer bir değişiklik yapmayacak minör veya ihmal edilebilir girdi ve çıktılarının tanımlanmasında harcanmaması gerekir. Yaşam döngüsü aşamalarında, proseslerde ve verilerde yapılan ihmallerin tümü, açık ve net olarak belirtilmelidir (EEA 1997).

4.5.1.5. Veri kalitesi

Yaşam döngüsü envanterinde kullanılan verinin kalitesi, doğal olarak final LCA'sinin de 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: beş yıl içinde) ve minimum zaman uzunluğu (örn: yıllık).
- **Cografik kapsam:** Çalışmanın hedefini sağlamak üzere birim işlemler için bilginin toplanması gereken coğrafik 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).

Literatürden elde edilen verilere karşılık, faaliyet alanlarından toplanan verileri tanımlayan ve verilerin ölçüm, hesaplama ve tahminlerini gerektiren ileri tanımlamalar ayrıca dikkate alınmalıdır. Özel sahalardan toplanan veriler,

hassasiyet analizlerinde belirtildiği gibi, çalışılan sistem içindeki kütle ve enerji akislerinin 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, hedef ve kapsam tanımının detay derecesine bağlı olarak dikkate alınmalıdır:

- **Kesinlik:** Açıklanan veri kategorilerinin her biri için veri değerlerinin değişkenliğinin ölçülmesi (varyans gibi).
- **Bütünlük:** Bir birim prosetteki her bir veri sınıfı için, mevcut potansiyel sayılara göre ön veri elde edilen bölgelerin yüzdesi
- **Temsil edilebilirlik:** Veri kümesinin yansıttığı verilerle olan ilginin doğruluk derecesinin nitel değerlendirilmesi (coğrafik, zaman dilimi ve teknolojik kapsam gibi).
- **Tutarlılık:** Çalışma yönteminin çeşitli analiz bileşenlerine nasıl sabit bir şekilde uygulanacağını nitel değerlendirmesi.
- **Tekrarlanabilirlik:** Çalışmada rapor edilen sonuçların bağımsız bir uygulayıcı tarafından yeniden üretilmesine, metodolojinin ve verilere dair bilginin izin verme derecesinin nitel değerlendirilmesi.

Veri kalitesi, veri kalite indikatörleri kullanılarak sistematik bir şekilde tanımlanabilir. Her bir veri kalite indikatörü 1'in en iyi kaliteyi temsil ettiği, 1-5 arası gibi bir skala kullanılarak değerlendirilebilir. Yukarıda verilen indikatörleri sırasıyla tanımlayan (1,3,2,1,1) gibi bir veri kümesi örneği, kesinliğin yüksek, bütünlüğün ise orta v.b. olduğunu göstermektedir. Veri kalitesinin sistematik olarak tanımlandığı bu metodoloji oldukça yeni olup yaşam döngüsü değerlendirmesinde kullanılan farklı çevresel verileri daha uygulanabilir yapmak üzere halen geliştirilmektedir. Halka açıklanacak olan bir karşılaştırma çalışması yukarıda belirtilen veri kalite indikatörlerini içermelidir (EEA 1997).

4.5.1.6. Kritik gözden geçirme

Kritik gözden geçirme; çevresel standartların, bir diğer kullanım alanı, bir sistem veya ürünün sertifikasyonu ya da bir ölçüm laboratuvarının akreditasyonunda uygulanmasıdır.

Kritik gözden geçirme prosesinin amacı, yaşam döngüsü değerlendirmesinin kalitesinden emin olmaktır. Bu gözden geçirme, içsel veya dissal olabilir ya da hedef ve kapsam tanımıyla belirtilen ilgili tarafları içerebilir.

Kritik gözden geçirme prosesi,

- LCA'yi gerçekleştirmek için kullanılan metodun uluslararası standartlarla uygunluğundan,
- LCA'yi 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.

Bir LCA çalışması, kritik olarak gözden geçirilirse, kritik gözden geçirmenin kapsamı, çalışmanın hedef ve kapsam tanımı kısmında belirtilmelidir. Bu kapsam, kritik gözden geçirmenin nedenini, içeriğini ve detay seviyesini belirtmelidir (EEA 1997).

4.5.2. Envanter analizi

Envanter analizi, yaşam döngüsünün ikinci aşamasını oluşturmada olup aşağıdaki kısımları içermektedir:

- Veri toplama
- Sistem sınırlarının incelenmesi
- Hesaplama
- Verinin geçerliliği
- Çalışılmakta olan sistemle ilgili veri

- Paylastirma (EEA 1997).

4.5.2.1. Veri toplama

Envanter analizleri, yasam döngüsünün tüm asamalarındaki materyal tüketimi, atik ve emisyon profillerinde kullanılacak olan verinin toplanmasini ve elenmesini içerir. Bu veri, özel sirket, saha veya ülkelerden olabilecegi gibi daha genel sahalardan da toplanabilir. Veri, yasam döngüsündeki tüm asamalardan toplanmalıdır. Bu veri nitel veya nicel olabilir. Nicel veri, proseslerin ve malzeme türlerinin karsilastirilmesi bakımından daha önemlidir fakat genelde, nicel veri eksik veya düşük kaliteli (çok eski veya teknolojik olarak temsil edilemez) olmaktadır. Daha tanımlayıcı olan nitel veri, yasam döngüsündeki ölçülemeyen çevresel etkiler için kullanılabilir.

Envanter analizleri, bir ürün sisteminin ilgili girdi ve çıktılarını degerlendirmek için veri toplama ve hesaplama prosedürlerini içerir. Bu girdi ve çıktılar, sistemle ilgili kaynak kullanımını ve havaya, suya ve topraga olan salınımları içermelidir. LCA'nin yorum asaması, hedef ve kapsam asamasına bağlı olarak bu veriler ışığında yapılır. Bu veri aynı zamanda yasam döngüsü etki degerlendirmesi asamasına 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 prosedürlerindeki değişiklikleri karşılamak üzere, yeni verilere veya mevcut verilerde sınırlamalara gerek duyulacaktır.

Envantere dahil edilen nitel ve nicel veriler, sistem sınırlarında verilen her bir proses için toplanmalıdır. Veri toplamada kullanılan prosedürler, çalışmanın kapsamına, birim proseslerine ve uygulamasına bağlı olarak çeşitlilik gösterir.

Veri toplama, özellikle özel bir sahaya ait çalışmada, her bir proses için veri toplamak gerekiyorsa, yasam döngüsü degerlendirmesinin en yoğun çalışılan bölümüdür. Çogu durumda, literatürden sağlanan ortalama veri (benzer sistemlere ait) kullanılır. Ortalama veri, kavramsal veya basitleştirilmiş LCA'da özel materyallerin işlenmesinden kaynaklanacak olan potansiyel girdi ve çıktılarına

yönelik olarak ilk izlenimi elde etmek için kullanılabilir. Detaylı bir LCA yapılırken, sahaya özel veri tercih edilmelidir. Ortalama veriler genelde birkaç yıllıktır ve bu nedenle son teknolojiyi temsil edemeyebilirler (EEA 1997).

4.5.2.2. Sistem sınırlarının kesinleştirilmesi

Sistem sınırları, kapsam tanımı prosedürünün bir bölümü olarak tanımlanmaktadır. Başlangıç verisinin toplanmasından sonra, sistem sınırları, hassasiyet analizlerine göre önemli sayılabilecek olan bazı yaşam 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 dökümanite edilmelidir (EEA 1997).

4.5.2.3. Hesaplama prosedürleri

Yaşam döngüsü değerlendirmesinde paylaştırma 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 (EEA 1997).

4.5.2.4. Verinin doğrulanması/geçerliliği

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

4.5.2.5. Verilerin fonksiyonel birimle ilişkilendirilmesi

Her bir birim proses için, uygun bir referans akis belirlenmelidir (1 Kg materyal, 1 MJ enerji için gibi). Birim prosesin ölçülebilir girdi ve çıktı verileri bu referans akisla ilgiye göre hesaplanır.

Kesinleşmiş olan akis diyagramı ve sistem sınırlarına dayanarak, birim prosesler tüm sistemin hesaplanabilmesi için birbirlerine bağlanırlar. Bu işlem, bir sistemdeki birim prosesin girdi ve çıktıların fonksiyonel birime normalize edilmesiyle ve daha 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 çıktıların toplanmasına çok dikkat edilmeli, toplama derecesi çalışmanın kapsamını yeterince sağlamalıdır (EEA 1997).

4.5.2.6. Paylaştırma ve geri dönüşüm

Karmasık bir sistemin yaşam döngüsü değerlendirilmesi oluşturulurken, sistem sınırlarında yer alan tüm çıktıların ve etkilerin ele alınması mümkün olmayabilir. Bu problem,

- Sistem sınırlarını, tüm girdi ve çıktıları kapsayacak şekilde genişleterek,
- İlgili çevresel etkileri, çalışılan sisteme paylaştırarak çözülebilir.

Sistem sınırlarının genişletilmesiyle paylaştırmadan kaçınmanın, sistemi çok kompleks hale getirme gibi bir riski bulunmaktadır. Böyle bir durumda, veri toplama, etki değerlendirmesi ve yorum, çok pahalı hale gelebilir ve zaman gerektirebilir.

Paylaştırma gerçek problemi çözmek için uygun bir metod bulunduğu zaman iyi bir alternatiftir. Envanter, girdi ve çıktılar arasındaki materyal dengelerine dayandığı için paylaştırma prosedürleri mümkün olduğunca temel girdi-çıkıtlı ilişkileri ve özelliklerine yakın olmalıdır.

Paylaştırmının aşağıda verilen durumlarda yapılması gereklidir:

- *Çoklu çıkis “kara kutu” prosesleri durumu:* Birden çok ürün üretildiğinde ve bu ürün akislerinden bazıları sistem sınırlarıyla çakistığında,
- *Çoklu giris prosesleri:* Atık aritimi gibi emisyonlar ve girisler arasında siki bir nicel nedensellik bulunduğunda,
- *Açık döngü geri dönüşümü:* Bir sistem sınırını terkeden atık malzemenin, sınırlar dışındaki bir başka sistem tarafından hammadde olarak kullanılmasında.

Yukarıda verilen prensiplerin isığında, paylastırma için aşağıdaki yöntemler uygulanmalıdır:

- Paylastırmadan mümkün olduğu kadar kaçınılmalı veya en az seviyede tutulmalıdır. Bu işlem, birim prosesi iki veya daha fazla alt prosese bölerek basarılabilir. Nakliye ve materyaller, bu yolla ayrılan proseslere örnek olarak verilebilir.
- Birden fazla ürün veya fonksiyon oluşturan ya da geri dönüşüm akımları içeren sistemler için, paylastırmadan kaçınılmalı veya sistem sınırlarını geliştirerek daha fazla birim proses içerilmesiyle paylastırma azaltılmalıdır (EEA 1997).
- Paylastırmanın önlenemediği durumlarda, sistemin girdi ve çıktıları, bu sistemin farklı ürünleri ve işlevleri arasındaki fiziksel ilişkiyi yansıtacak bir usulle ayrılmalıdır. Bu bölümlere paylastırma işlemi, sistem tarafından üretilen ürünlerdeki ve işlevlerdeki niceliksel değişikliklerin girdi ve çıktıları da nasıl degistirdiğini yansıtmalıdır (TSE EN ISO 14041 2003). Sisteme giren ve çıkan akisler arasındaki bu “nedensel ilişkiler”, aynı zamanda sistemin ekonomik ilişkilerini de temsil eden bir proses modelini temsil etmelidir (EEA 1997).

4.5.3. Etki değerlendirmesi

Etki değerlendirmesi, yaşam döngüsü değerlendirmesinin üçüncü aşamasını oluşturmakta olup, aşağıdaki ana konuları içerir:

- Kategori tanımı

- Sinirlendirme
- Karakterizasyon
- Degerlendirme / agirliklandirma

Etki degerlendirmesi, envanter tablosunda belirtilen çevresel girisimlerin etkilerini, karakterize eden ve degerlendiren nicel ve/veya nitel bir islemdir.

Yasam döngüsü etki analizi yapisi ve prosedürü seffaf olmalı ve genis bir uygulama araligi için esneklik ve pratiklik saglamalıdır. Etki degerlendirmesi maliyet ve kullanılan kaynaklar bazında da etkilidir (EEA 1997, TS EN ISO 14042 2003).

4.5.3.1. Kategori tanimi

Yasam döngüsü etki degerlendirmesi, ilk asama olarak, ele alınan etki kategorilerinin tanimini gerektirir. Bu hedef ve kapsam asamasında yapılan kararların bir devamıdır. Envanter asamasında toplanan verinin türüne bağlı olarak hedef ve kapsam asamasında belirlenen sınırlar tekrardan gözden geçirilebilir. Bu bölümün amacı, çevresel kategorilerin seçimi ve tanımlanması için bir yol bulmaktır. Yasam döngüsü etki degerlendirmesi için birçok çevresel kategori bulunmaktadır. Kategorilerin seçimi, çalışmanın hedef ve kapsamıyla tutarlı olmalı, bu seçim, çevresel konulardan kaçınmak için kullanılmamalıdır. İncelemenin genişliği ve bütünselliği hedef ve kapsama bağlıdır. 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, stratosferik ozon tahribati, ekotoksikolojik etkiler, insanlar üzerinde toksikolojik etkiler, fotokimyasal oksidasyon oluşumu, asidifikasyon ve ötrofikasyondur (EEA 1997).

Etki kategorileri seçilirken birçok soru akla gelmelidir:

- *Bütünsellik*: İlgili tüm çevresel problemler bir listede kapsanmalıdır.
- *Pratiklik*: Bu liste çok fazla kategori içermemelidir.
- *Bagimsizlik*: Birbirinden bagimsiz etki degerlerini seçerek tekrarlı hesaplama dan kaçınılmalıdır.

- *Karakterizasyon asamasiyla iliski*: Seçilmiş olan etki degerlendirmesi karakterizasyon yöntemleriyle ilgili olmalıdır.

4.5.3.2. Siniflandirma

Yasam döngüsü etki analizi, ikinci asama olarak envanter girdi ve çıktı verilerinin siniflandırilmasini içerir. Elementlerin siniflandırilmasinin amaci envanter girdi ve çıktı verilerinin kategorilere ayrilmasidir. Envanter verilerinin ayrilmasi, yasam döngüsü etki degerlendirmesinin en basit veya en alt seviyesi olup, envanter girdi ve çıktı verileriyle ilgili konularin belirlenmesinde kullanilir. Siniflandirma, ilgili çevresel proseslerin bilimsel analizlerine dayanan nitel bir basamaktır. Siniflandirma, girdi ve çıktı envanter verilerini etki kategorileri gibi potansiyel çevresel etkilere ayirmalidir. Bazi çıktilar farkli etki kategorilerine katilabilir ve bu nedenle iki kez bahsedilmeleri gerekir. İki kez saymanın sonucuna, aynı etki zincirindeki (stratosferik ozon tahribati ve toksikolojik etkilerin cilt kanserine neden olması gibi) farkli etkilerin olması durumunda izin verilmezken, bu sonuç ancak etkiler birbirinden bagimsiz ise kabul edilebilir.

Etki kategorileri, global etkiler, bölgesel etkiler ve yerel etkiler olmak üzere üç farkli gruba bölen bir skala üzerine yerlestirilebilir, fakat bu siniflandirma, çevresel toksikoloji gibi hem global, hem bölgesel hem de yerel bazda olabilecek olan etkiler için uygun degildir (EEA 1997).

4.5.3.3. Karakterizasyon

Yasam döngüsü etki degerlendirmesi üçüncü asama olarak envanter verisinin karakterizasyonunu içerir. Karakterizasyon, kategorileri indikatörler seklinde modeller ve mümkünse envanter girdi ve çıktı verilerinin bu kategori içinde toplanmasini saglar. Kategori indikatörlerinin bir bileşimi olan karakterizasyonun sonucu, baslangıç yüklemesini ve kaynak tahribati profilini temsil etmektedir. Her bir kategori, girdi ve çıktı verileriyle indikatör arasındaki ilişkiye dair spesifik bir modele sahip olmalıdır. Bu model mümkünse bilimsel bir bilgiye dayanmalı, fakat basit tahminler ve veri seçenekleri içermelidir. Her bir

modelin temsil edilebilirliği ve doğruluğu, kategorinin envanterle uzaysal ve zamansal uyumluluğu gibi birçok faktöre bağlıdır. Envanter girdi ve çıktı verisi ile kategori indikatörü arasındaki ilişki normal olarak güçlüdür. İndikatörle uç noktalar arasındaki ilişki ise genelde daha zayıf ve nitel olabilmektedir.

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 (EEA 1997).

4.5.3.4. Ağırlıklı değerlendirme

Bir önceki aşama olan karakterizasyon, küresel ısınma, stratosferik ozon tahribati ve ekotoksikolojik etkiler gibi farklı etki kategorileri üzerine nicel bir ifadeyle sonuçlanır ancak, bu kategorilerin karşılaştırılması hemen yapılamaz. Bu nedenle, yaşam döngüsü değerlendirmesi dördüncü aşama olarak etki kategorilerinin birbirleriyle karşılıklı olarak, ağırlıklı değerlendirilmelerini içerir. Ağırlıklı değerlendirmenin amacı, farklı yaşam döngüsü etki kategorilerini, önem sırasına göre sıralamak, ağırlıklandırmak, mümkünse gruplandırmaktır. Ağırlıklandırma prosesi, teknik, bilimsel veya sera gazı ya da kaynak tahribati indikatörleri gibi doğrudan karşılaştırılamayan çeşitli yaşam döngüsü değerlendirmesi sonuçları gibi objektif değildir. Buna rağmen, analitik tekniklere dayanan bilimsel verilere başvurulabilir. Ağırlıklandırma, üç ana bakış açisini ortaya koymak üzere ele alınabilir:

- Politikalara, hedef ve amaçlara, kişisel veya grup fikirlerine dayanarak bir işletmenin veya paydaş grubunun önceliklerini açıklamak,
- Prosesin görülebilir, dökümanite edilebilir ve rapor edilebilir olduğunu garantilemek,
- Bu konularla ilgili bilgiye dayanan sonuçların önemini belirtmek (EEA 1997).

4.5.4. Yorum

Yasam döngüsü degerlendirmesi yorumu, bir sistemin envanter analizi veya etki degerlendirmesi sonuçlarından elde edilen bilgiyi nitelendirmek, kontrol etmek ve degerlendirmek ve hedef ve kapsam bölümünde belirtildiği gibi sunmaya yönelik sistematik bir prosedürdür.

Yorum, yasam döngüsünün diğer üç aşaması arasında gerçekleştirilir. Envanter analizlerinden ve etki degerlendirmesinden bulunanlar, hedef ve kapsam tanımında belirtilenleri karşılamazsa, envanter analizi sistem sınırları revize edilmeli, daha fazla veri toplanması gibi işlemlerle geliştirilmeli, bunu, geliştirilmiş etki degerlendirmesi takip etmelidir. Bu tekrarlayıcı proses, hedef ve kapsam aşamasında belirtilen gereksinimler, aşağıda tanımlanan hususlar karşılanıncaya kadar tekrarlanmalıdır:

1. Önemli çevresel konuların belirlenmesi,
2. Bütünsellik, hassasiyet ve tutarlılık açısından metodolojinin ve sonuçların degerlendirilmesi,
3. Sonuçların hedef ve kapsam tanımındaki gereksinimlerle uyumluluğunun kontrolü,
4. Yukarıdaki işlemler sağlanıyorsa sonuç olarak bir rapor yazılmalı, sağlanmıyorsa 1. ve 2. basamaga geri dönmelidir. Bu işlem 3. basamak sağlanıncaya kadar tekrarlanmalıdır (EEA 1997).

Önemli çevresel konuların belirlenmesi: Bu unsurun amacı, hedef ve kapsam tarifine uygun olarak, degerlendirme unsuru ile karşılıklı etkileşim içindeki önemli konuları belirlemek üzere, envanter analizleri ve etki analizlerinden elde edilen bilgileri yapılandırmaktır (TSE EN ISO 14043 2003).

Çevresel konular, envanter aşamasının ve çevresel indikatörlerin sonuçları gibi girdi ve çıktılardır. Önemli çevresel konular, hedef ve kapsam tanımı gereğince çalışmanın en önemli sonuçlarını temsil etmektedir. Belirleme basamagi, aşağıda verilen maddelerle ilgili bilginin yapılandırılmasını ve sunulmasını içerir:

- Farklı aşamaların sonuçları; envanter analizlerindeki verilerin veya etki analizlerinin sonuçlarının tablolar, figürler ve diyagramlarla verilmesi.

- Metodolojik seçenekler
- Kullanılan değerlendirme metodu
- Farklı ilgili tarafların rolü ve sorumlulukları

LCA çalışmasının karmaşıklığına bağlı olarak, ele alınan sistemin önemli çevresel konuları, CO₂, NO_x ve SO₂ olabileceği gibi küresel ısınma, stratosferik ozon tahribatı ve ekotoksikolojik etkiler de olabilir (EEA 1997).

Degerlendirme: Bu ikinci asama;

- Seçilmiş olan verilerin ve proseslerin nitel bir kontrolünü yapmak,
- Girdi verisindeki herhangi bir değişimin, sistematik olarak nitel veya nicel analizlerini yapmak ve
- Hedef ve kapsam bölümünün yapısında tanımlanan değişiklikleri tartışmak üzere yapılır.

Degerlendirme, hedef ve kapsam tanımına uygun olarak yapılmalı ve çalışmanın son kullanımını da dikkate almalıdır.

Degerlendirme sırasında, aşağıdaki üç teknik dikkate alınmalıdır:

- Bütünlük kontrolü: Bütünlük kontrolü nitel bir prosedürdür (EEA 1997). Degerlendirme aşamasının bu ilk aşamasının amacı, yorumlama için istenilen bütün bilgi ve verilerin ulaşılabilir ve tam olmasını temin etmektir (TS EN ISO 14043 2003). Bu prosedür, envanter aşamasında toplanan bilgiye yoğunlaşır. Birçok LCA çalışmasında eksik veya kayıp veri kümesi bulunmaktadır. Bütünlük kontrolü, bu tür veri kümelerinin tamamlanmasının gerekli olup olmadığına karar vermelidir. Tanımlanan çevresel konulara göre veri kümesi önemli ise, veri toplama geliştirilmeli veya hedef ve kapsam tanımı revize edilmelidir.
- Hassasiyet kontrolü: Hassasiyet kontrolü, çalışmanın hedefleriyle ilgili sonuçların güvenilirlik derecesini belirlemek üzere kullanılan parametrelerdeki değişkenlerin etkilerinin tahmin edilmesine yönelik sistematik bir prosedür içerir. Bu basamağın amacı;
 - a) Farklı aşamalarda (envanter analizleri ve etki değerlendirmesi) gerçekleştirilen hassasiyet ve belirsizlik analizlerinin sonuçlarını gözden geçirmek ve

- b) Önemli çevresel konuları, çalışmanın hedef ve kapsam tanımıyla belirtilen kabul edilebilir değerleri geçtikleri durumlarda değerlendirmektir.

Hassasiyet analizleri, farklı giriş parametrelerinin sistematik olarak değiştiği durumlarda, bir çeşit “ eğer ” (what if) senaryosu yapılarak yürütülebilir. Hassasiyet analizi yapmanın en uygun yolu, simülasyonlar kullanarak giriş parametrelerini sistematik olarak değiştirmektir (örneğin Monte Carlo simülasyonları).

- Uygunluk kontrolü: Uygunluk kontrolü de nitel bir yöntemdir. Değerlendirme aşamasının bu basamağının amacı, çalışmada kullanılan metodların, prosedürlerin ve verilerin işlenmesinin, amaç ve kapsamla uyumluluğunu kontrol etmektir. Bu prosedür, özellikle karşılaştırma çalışmalarında kullanılan metodları test etmektedir. Uygunluk kontrolünün konuları; bölgesel ve/veya geçici farklılıklar, sistem sınırları, paylaşım yöntemleri, proses öncesi ve sonrasındaki farklılıklar ve ağırlıklı değerlendirme yöntemleri şeklindedir.

Bütünlük, hassasiyet ve uygunluk kontrolü, belirsizlik analizleri ve veri kalitesi değerlendirmesinin sonuçlarıyla tamamlanabilir (EEA 1997).

Sonuç ve öneriler : Yorum aşamasının bu dördüncü basamağının amacı, LCA çalışması veya yaşam döngüsü envanter çalışmasının raporu için, sonuçlara varmak ve öneriler getirmektir. Bu basamak, LCA çalışmasını okuyan kişiler açısından gerekli ve çalışmanın raporlanmasını ve şeffaflığını geliştirme bakımından son derece önemlidir (EEA 1997).

5. YASAM DÖNGÜSÜ ANALIZIYLE İLGİLİ UYGULAMALAR

Yasam döngüsü analiziyle ilgili literatürde yer alan çalışmalar Bölüm 5.1’de, mevcut uygulamalar ise Bölüm 5.2’de verilmistir.

5.1. Konuyla İlgili Literatürde Yer Alan Çalışmalar

Malzemelerin yeniden kullanım olasılıkları ve yüksek bir geri dönüşüm seviyesinde dayanıklı tüketim malzemelerinin fonksiyonel parçalarıyla ilgili olarak Schwarz (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, uygulama sahası olarak buzdolabi üretimi seçilmiş, malzeme envanteri, üretim ve kullanım ile bağlantılı çevresel etkileri tanımlamak için SimaPro 4 yazılımı kullanılmıştır. Mevcut geri dönüşüm koşulları farklı tasarım ve maksimum geri dönüşüm senaryolarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, kompresör gibi fonksiyonel parçaların, metal levhalar gibi malzemelerin ve poliüretan köpüğün yeniden kullanımı ile yaklaşık % 25 oranında çevresel gelişimin başarılabileceği belirlenmiştir.

Klima sistemlerinde hidrokloroflorokarbonlar (HCFC) yerine kullanılan bosta hidroflorokarbonlar (HFC)’lar gibi soğutma gazlarının, atmosfere verilmeleri durumunda büyük ölçüde küresel ısınma potansiyeli oluşturdukları bilinmektedir. Barnabe (1999) tarafından yapılan bu çalışmada da HFC’lerin kullanımını azaltmaya yönelik olarak, SimaPro yazılımı kullanılmış, iki ürünün (CAC ve RAC) LCA çalışması yapılmıştır.

Yoshida ve ark. (1999) tarafından yapılan bir çalışmada da, yapım aşamasında olan yeni bir geri dönüşüm tesisinde gerçekleştirilecek olan geri dönüşüm senaryosunun çevresel performansı, konvansiyonel geri dönüşüm / bertaraf senaryoları ile karşılaştırılmıştır. Konvansiyonel senaryolar olarak, demir geri kazanımlı parçalama sistemi ve geri kazanımsız depolama seçilmiştir. Konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında, yeni geri dönüşüm tesisinin kullanılmasını öngören senaryonun, çevresel yükleri önemli derecede azalttığı sonucuna varılmıştır.

Zabaniotou ve Kassidi (2003) tarafından yapılan ayrı bir çalışmada ise, polistrenden ve geri dönüşümlü kagittan üretilen iki yumurta viyolu ambalajının

karsilastirilmesi amaciyla bir LCA uygulaması yapilmis, kütle ve enerji denklıkları kurulmus, iki sistemin çevresel etkileri analiz edilmiştir. Bu çalışmada, Eco-Indicator 95 yöntemi kullanılarak sonuçlar karsilastirilmis, geri dönüşümlü kagit ambalajların daha çok ağır metal ve kanserojen madde yaydığı, polistren ambalajın ise daha çok asidik potansiyele sahip olması nedeniyle, kis ve yaz aylarında sise yol açtığı belirlenmiştir.

Ross ve Evans (2003) depolama alanlarına giden atık miktarını ve aynı zamanda çevresel zararı da azaltmaya yönelik olarak, plastik bazlı ambalajlamanın yeniden kullanım veya geri dönüşüm stratejilerini, LCA yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Kaynaklar ve çevresel etkiler, fosil yakıt tüketimi, sera gazı emisyonları, fotokimyasal oksidant belirtilerini içeren durumlar, her iki ambalaj maddesinin de ömrünü belirleyici etkenler olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçlara göre, plastik bazlı ürünler için hem geri dönüşüm hem de yeniden kullanım stratejileri önemli çevresel yararlar sağlamaktadır.

Huang ve Ma (2004) tarafından yapılan çalışmada, ambalaj malzemelerinin çok boyutlu çevresel değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmada, çevresel etkileri, kalitatif ve kantitatif olarak değerlendirerek yeni bir yaklaşımda bulunulmuştur. Kantitatif bir yöntem olan LCA ve kalitatif bir yöntem olan Analitik Hiyerarsi Prosesi (AHP) bu yeni yaklaşımı oluşturan metodlar olarak ele alınmış, bu iki metodun bulguları bir küme analizinde birleştirilmiştir.

Finnveden ve Ekvall (1998) tarafından kagit ambalaj malzemelerinin geri dönüşüm ve enerji geri kazanımlı insinerasyonunun, LCA'nin yararlarını belirtme açısından incelendiği bir çalışmada, LCA'nin tekrarlanabilirliği de değerlendirilmiş ve farklı gruplar tarafından yapılan LCA'lar arasında olabilecek farklılıkların nedenleri tartışılmıştır. Aynı zamanda kagit ambalaj malzemelerinin geri dönüşümüne karşılık, insinerasyonunun çevresel avantajları üzerine bir sonuca varmak için bir yaklaşımda bulunulmuştur.

Plastiklerin farklı toplama yöntemlerinin ekonomik uygunluğu ve çevresel etkileri, Quintavalla ve ark. (2004) tarafından LCA analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilk kısmında, geri kazanım/geri dönüşüm, yakma ve depolamadan oluşan ve su anda geçerli olan bir senaryo ele alınmış; ikinci kısmında ise gerçek veriler kullanılarak plastiklerin toplama ve taşıma

sistemlerinin, geri kazanım ve bertarafının LCA yöntemi kullanılarak bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Olası alternatif senaryoların karşılaştırılmaları, Eko-indikatör 99 metoduyla yapılmıştır. Ele alınan proseslerde, PET geri dönüşümü – 0.00172 puan (Pt), PE geri dönüşümü –0.00259 Pt ve PVC VINYLOOP geri dönüşümü ise –0.000639 Pt ile önlenen en büyük hasarlar olmuştur. İnsinerasyonda ise, toplam önlenen hasar $-8.12E-5$ Pt olarak verilmiştir. Yukarıda verilen değerlerin aksine, sahada bertarafın $7.78E-5$ Pt değerinde bir hasara neden olduğu belirlenmiştir.

Camobreco ve ark. (1999) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, modern bir evsel kati atık düzenli depolama alanının yaşam döngüsü envanteri yapılmıştır. 2 yıl süren bu çalışmada 100'den fazla düzenli depolama alanını temsil eden veriler kullanılmış ve ayrıca bir yazılım geliştirilmiştir.

Mendes ve ark. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada ise, Brezilya'nın São Paulo kentinin evsel kati atıklarının insinerasyonunun ve düzenli depolanmasının çevresel etkileri, LCA kullanılarak karşılaştırılmıştır. Enerji geri kazanımlı insinerasyon ve düzenli depolama bes ayrı senaryoda ele alınmıştır. İnsinerasyon senaryosu kendi içinde, kül arıtma sistemli, kül eritmeli ve külün yeniden kullanıldığı (tuğla yapımı) olmak üzere üç farklı senaryoya ayrılırken; düzenli depolama ise enerji geri kazanımlı ve enerji geri kazanımsız olmak üzere iki farklı senaryoya ayrılmıştır. Enerji tüketimi, kaynakların geri kazanılması, hava emisyonları ve atıksu, alternatiflerin etki potansiyelleri olarak analiz edilmiştir. Bu çalışma; artan enerji tüketimi nedeniyle külün tuğla üretiminde kullanıldığı insinerasyon senaryosunun, diğer senaryolar arasında en yüksek çevresel etkiye sahip olduğu; düzenli depolamanın insinerasyondan daha fazla çevresel etkiye sahip olduğu; enerji geri kazanımlı düzenli depolamanın diğerine göre daha az çevresel etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayalon ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada, İsrail'de içecek ambalajlarının çok yönlü Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi uygulaması yapılmıştır. Ele alınan yaklaşım, ticari bir ürün LCA'si ile ürün zincirindeki tüm çevresel yükümlülüklerin dikey toplamını, kullanım ve bertaraf aktivitelerini, farklı ürünlerin ve geri dönüşüm, insinerasyon ve düzenli depolama gibi bertaraf senaryolarının yatay karşılaştırmasını birleştirmektedir. Bu çalışma, ambalaj

alternatiflerini karsilastirmanin en etkin ve açık yolunun, alternatifleri maliyet gibi bir temelde uygun olarak yerlestirmek oldugunu savunmaktadır. Çevresel varliklarin mali degerlerinin sinirlarini ve zorluklarini dikkate alarak yürütülen bu çalışmada her bir alternatifle ilgili çevresel yarar ve zararlar tahmin edilmistir.

Aprili ve ark. (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, LCA metodolojisi evsel kati atik için düzenli depolama alanina uygulanmistir. HELP 3.07 ve LandGEM modelleri depolama alaninin ilk 30 yili boyunca 1 ton atik tarafından olusturulan sızıntı suyu ve biogaz miktarlarinin tahmin edilmesinde kullanilmistir. Daha sonra atik toplamadan baslayip, aritilmis sızıntı suyunun yüzeysel suya karismasiyla biten yasam döngüsüne dair envanter verisi belirlenmis ve SimaPro 3.1 kullanılarak bir LCA sistemi olusturulmustur. Eco-indikatör degerlendirme metodundan elde edilen sonuçlardan toplam çevresel hasarin %30'unun tasimadan kaynaklandigi, küresel isinma ve fotokimyasal smog gibi hasar kategorilerine biogazin katiliminin toplam hasarin % 46'si, ağır metal ve ötrofikasyon gibi hasar kategorilerine sızıntı suyunun katiliminin ise toplam hasarin % 14'ü oldugu saptanmistir.

Song ve Hyun (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, PET için çeşitli atik yönetim senaryolarinin LCA metodolojisi yardimiyla karsilastirilmesi yapılmistir. PET siselerin yasam döngüsünde yer alan üretim ve atik senaryolarinin tüm asamalarında tüketilen enerji ve olusan emisyonlari dikkate almak üzere enerji ve kütle dengeleri kurulmus ve daha sonra bu çeşitli atik senaryolarinin gidis yolunu göstermek üzere bir matematik model olusturulmustur. Siselerin toplama modeli için, lineer olmayan fonksiyonel iliski seçilmis ve degerler modele uygulanmistir. Bu gelistirilmis modeli kullanarak, çeşitli atik yönetim alternatiflerinin çevresel yükleri degerlendirilmistir.

Bu çalışmaların yani sıra özel sektör açısından önem taşıyan, ürün geliştirmeyle ilgili olarak da çeşitli uygulamalar vardır. Ürün geliştirmeyle çevresel amaçların birlestirilmesine dair yürütülen projelerden bazı örnekler aşağıda verilmistir:

- **Ekolojik Ürün Projesi (Isveç):** Ekolojik Ürün Projesi 1992 yılında İsveç'te İsveç Sanayi Federasyonu'nun bir girişimiyle baslatılmistir. Projenin ana fikri, ürün geliştiricilerin, alıcıların ve diğer karar verici

mekanizmaların, proseslerden ve ürünlerden kaynaklanan çevresel etkileri dikkate almalarına yardımcı olmak için LCA tabanlı bir hesaplama sistemi geliştirmektedir. Daha sonra, şirket içi araç olarak kullanılacak bir bilgisayar tabanlı yazılım versiyonu olan Çevresel Öncelik Sistemi (EPS) ve çevreci ürün geliştirme eğitim paketleri de geliştirilmiştir (EEA 1997).

- **NEP Projesi (İskandinavya):** Çevresel ürün geliştirmeye yönelik olan bu proje İsveç, Norveç ve Finlandiya gibi kuzey ülkelerini içermekte ve öncelikle İsveç ve Norveç endüstrileri tarafından uygulanan, LCA veri tabanının genel yapısının geliştirilmesinden ve bir çok vaka çalışmasından oluşan iki bölüm içermektedir. Bu projede, LCA, Kalite Fonksiyon Açılımı (QFD) ve Yasam Döngüsü Maliyet Analizi (LCCA) gibi ürün geliştirme araçlarıyla birleştirilmiştir.
- **Eko-Dizayn Programı (Hollanda):** Bu Alman Eko-Dizayn programı, sekiz firmanın, gelişmiş bir ürüne ulaşma amacıyla çevresel bakış açılarını birleştirmeye çalıştıkları deneysel bir projedir. Projedeki ana fikirlerden birisi, şirket içinde çevresel açıdan uzmanlardan ve ürün geliştiricilerden oluşan bir takım oluşturmaktır. Bu projede, nicel LCA'yla birlikte daha kavramsal bir yaşam döngüsü yaklaşımı kullanılmıştır (EEA 1997).
- **Eko-İndikatör Programı (Hollanda):** Eko-İndikatör programı, tasarım amaçlı bir LCA prosedürünün oluşturulmasıyla sonuçlandırılmıştır. Programın ana fikri, her bir proses ve malzeme için besikten mezara etkileri tanımlayan tek bir sayının olmasıdır. Her bir proses ve malzeme için tek sayının olması durumunda proses ağacının oluşturulmasına, emisyon verilerinin toplanmasına ve ödenek kurallarının belirlenmesine gerek yoktur (EEA 1997).
- **Malzeme Teknolojisi Programı (Danimarka):** Danimarka Malzeme Teknolojisi Programı'nda, malzemelerin ve proseslerin gelişim sürecinde meydana gelen potansiyel yaşam döngüsü etkilerini açığa çıkarmak için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem ve beraberindeki veri tabanı, küresel ve çevresel etkilere katılımın başlangıç

hesaplamalarının yanı sıra, potansiyel sağlık ve ekolojik etkilerin ve atık yönetimi seçeneklerinin nicel olarak gösterimi için de kullanılabilir. Bu yöntem, yaşam döngüsündeki potansiyel sıcak noktaları belirlemekte ve mevcut teknolojilerle karşılaştırmalar için esaslar vermektedir.

- **EDIP Projesi (Danimarka):** Danimarka EDIP Projesi 1991'den 1996'ya kadar, Danimarka Teknik Üniversitesi Ürün Geliştirme Enstitüsü'yle ve diğer ilgili merkezlerle işbirliği içinde olan bir Danimarka şirketine kapsar. Bu projenin amacı, bu şirketlerdeki tasarım takımlarına, ürün geliştirmede çevresel kriterleri ele almayı destekleyen yöntemler ve araçlar sunmaktır. LCA yöntemine dayalı bu araçların ürün geliştiriciler ve çevre uzmanları arasında interaktif olarak kullanılması düşünülmüştür. Çevresel etkilerin değerlendirilmesi için detaylı kriterler ve yöntemler geniş kapsamlı olarak raporlanmış ve Danimarka Çevre Koruma Ajansı tarafından projeyi destekleyici bir veri tabanı oluşturulmuştur (EEA 1997).
- **Yaşam Döngüsü Tasarım Projesi (A.B.D.):** ABD Yaşam Döngüsü Tasarım Projesi, bir Yaşam Döngüsü Tasarım Kılavuzu (Life Cycle Design Guidance Manual) ile sonuçlanmıştır. Projenin çıkış noktası, bir tasarım prosesinin tüm yaşam döngüsüyle ilişkili çevre, performans, maliyet, yasal ve kültürel bakış açılarından oluşan bir kavramsal matrisi formüle edici bir yapı kurmaktır. Çeşitli tasarım gereksinimlerinin formüllendirilmesi, belirlenmesi ve ağırlıklandırılması, iyi organize edilmiş bir çevre yönetim sistemiyle birlikte, başarılı bir projenin kritik noktası olarak vurgulanmıştır. Projenin ikinci aşaması, sonuçları raporlanmış olan projelerin sunulmasıdır.
- **21. yy.'da Endüstriyel Üretim Stratejileri (Almanya):** Bu Alman araştırma programının bir parçası olarak, tekrarlamalı bir LCA yöntemi geliştirilmiş ve ürün geliştirmede kullanılmıştır. Bu yöntemin amacı, ürün geliştirme aşamasında yararlı olabilecek sonuçlar üretmek ve LCA uygulayıcısı ve ürün tasarım ekibi arasında bir iletişim kurmaktır.

Projenin çıkış noktası, ana amaçlara yönelik nitel (ya da yarı nicel) bilgi tabanı oluşturmaktır (EEA 1997).

5.2. Kavramsal Açıdan LCA'yla İlgili Uygulamalar

LCA, çevre yönetiminde sadece karar destek sistemi olarak kullanılmamalıdır. SETAC tarafından kullanılan “Kavramca İlgili Programlar (CRP)” terimi, çevre yönetimindeki çevresel karar vermeyi destekleyici olan yaklaşımları geniş çaplı olarak tanımlamaktadır. Çoğu CRP’ler çok kesin olarak belirlenmemiş olmakla birlikte, SETAC Kavramca İlgili Programlar çalışma grubu tarafından Çevre Yönetim Araçları (Environmental Management Tools) ve Çevre Yönetim Kavramları (Environmental Management Concepts) olarak ikiye ayrılmıştır. Çevre Yönetim Kavramları, “özel profesyonel disiplinlerde sürdürülebilirliği sağlayıcı fikirler” olarak tanımlanırken, Çevre Yönetim Araçları, “genellikle bir kavramı desteklemek için kullanılan, sistematik basamak prosedürlü ve/veya algoritma hesaplı ölçüm teknolojileri” olarak tanımlanabilir. Bu programların çoğu birbiriyle çok ilgilidirler ve birbirlerinden kolay kolay ayırt edilemezler. Bununla birlikte, şirketlerin çoğu, çevre performanslarını geliştirme hedeflerini gerçekleştirmek için birçok kavrami ve aracı birleştirmektedir. (EEA 1997).

- **Yasam Döngüsü Yönetimi:** Yasam Döngüsü Yönetimi’nin ana fikri, bir firma tarafından üretilen ürünün çevresel yüklerine dair bilgiye sahip olmak ve bu bilgiyi gelişme eylemlerinde kullanmaktır. Bu proses, üretim sahasındaki tüm proses birimlerinin belirlenmesiyle ve ilgili tüm girdi ve çıktılarının analiziyle başlar. Daha sonra alt ve üst akım prosesleri ele alınır. Bu yaklaşımdan elde edilen sonuçlar bir LCA oluşturulmasında kullanılabilir gibi çevresel yükleri azaltmada da kullanılabilir. (EEA 1997).
- **Ürün Yönetimi (Stewardship):** Ürün yönetimi, “bir ürünün başlangıç aşamasından, son aşamaya kadar olan gelişim sürecinde sorumlu ve etik yönetim” olarak tanımlanmaktadır. Ürün yönetiminin amacı, sağlığı, güvenliği ve çevre korumayı; ürünlerin tasarım, üretim,

pazarlama, dagitim, kullanim, geri dönüşüm ve bertaraf asamalarinin bir parçasi haline getirmektir. LCA ile iliskisi oldukça açık olmasına ragmen en belirgin farklılık, çevresel etkilerin, tüm yaşam döngüsü boyunca ele alınmamis olmasidir.

- **Temiz Üretim:** Temiz üretim, UNEP tarafından “ürünlerin ve proseslerin insanlara ve çevreye olan risklerini azaltici bir önleyici çevre stratejisinin sürekli uygulanması” olarak tanımlanmaktadır. Üretim prosesi için temiz üretim, hammaddelerin korunmasını, prostesten ayrılmadan önce tüm emisyonların ve atıkların miktarlarının ve zehirliliklerinin azaltılmasını içermektedir. Ürünler için bu strateji, hammadde eldesinden son bertarafa kadar tüm yaşam döngüsü boyunca oluşacak etkileri azaltmaya yoğunlaşmaktadır. LCA’yla bağlantısı açısından, temiz üretim programlarından elde edilen sonuçların yayılması, ürün ve proseslere özel, değerli bilgi kaynakları sağlayabilir (EEA 1997).
- **Endüstriyel Ekoloji:** Endüstriyel Ekoloji, “endüstriyel proseslerin birbirleriyle sadece ekonomik olarak değil aynı zamanda birbirlerinin yan ürünlerini ve atıklarını doğrudan kullanarak oluşturdukları ağ” olarak tanımlanmaktadır. Bu programın analiz amacı ürünlerden çok, endüstriyel prostestir ve çevresel etkileri farklı üretim proseslerini oluşturdukları atıklar yoluyla birbirine bağlayarak azaltmak için daha fazla sinerji oluşturmaya odaklanmıştır. Endüstriyel ekoloji programının LCA’yla doğrudan bir ilişkisi olmadığı düşünülmektedir. Fakat, endüstriyel ekoloji programına giren şirketler, LCA ‘da olduğu gibi ürünlerinde gelişmiş bir çevresel profil oluşturmayı ummaktadırlar. Bu beklenti, LCA’da kullanılan ayırma prosedürlerinin, çok sayıda endüstri arasında uygun bir şekilde karmaşık atık akımlarını oluşturmaya yönelik olarak geliştirilmesini gerektirmektedir (EEA 1997).
- **Çevresel Performansın Gelistirilmesi:** Çevresel performans değerlendirme kavramı, Çevre Yönetim Sistemleri’nde, bir sistemin çevresel yönlerini araştırmak, ölçmek ve anlamak için kullanılmak

üzere geliştirilmiştir. Ana düşünce, devam eden gelişmelerde ölçülecek ve araştırılacak indikatörlerin belirlenmesidir.

- **Teknoloji Değerlendirmesi:** Teknoloji Değerlendirmesi, “yeni teknolojilere girmenin etkilerinin değerlendirilmesi” olarak tanımlanabilir. Teknoloji değerlendirme ve LCA arasındaki en büyük farklılık, teknoloji değerlendirmesinde geniş çapta ekonomik, sosyal ve çevresel açılar dikkate alınırken, LCA’da sadece çevresel etkilerin ele alınmasıdır (EEA 1997).
- **Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED):** ÇED, insan aktivitelerinin insan sağlığı ve refahi üzerindeki etkilerinin belirlenmesinin ve ölçülmesinin yapıldığı bir aktivitedir. ÇED genellikle, özel bir alanın yapımının neden olacağı çevresel etkilerin araştırılma evresinde kullanılır. ÇED’in detay derecesi, açığa çıkan kirleticilerin konsantrasyonları ve maruz kalma süresi gibi etkileri ele aldığından, LCA’dan daha yüksektir. ÇED, sahaya özel LCA’lara doğru veri sağlamada ve genel LCA’larda kontrol için referans alınmada kullanılabilir.
- **Risk Analizi (RA):** Risk Analizi, yararlı tek araç değildir fakat, tehlikeli maddelerin taşınması veya özel maddelerin kullanılması gibi özel durumlardan kaynaklanan insan sağlığına ve çevreye olan potansiyel riskleri araştırmak için geliştirilen çok sayıda araçtan daha fazlasıdır. 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 dair önemli bilgiler sağlayabilir ve tehlike belirleme kullanılan metodolojiye bağlı olarak, etki değerlendirmesine yardımcı olabilir (EEA 1997).

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Gıda ürünlerinde ambalaj hem iç piyasada hem de uluslararası pazarlarda önemli bir rekabet unsurudur. Günümüzde gıda üreticilerinin, yöresel küçük işletmeler olmaktan çıkıp, büyük endüstriyel işletmeler haline gelmeleri, ürünlerini yurt içinde ve yurt dışında güvenli ve sağlıklı dağıtıp satabilmek için ambalaja önem vermeleriyle birlikte, ülkemizde ambalajın gıda sanayisindeki pazar payı da artmıştır.

Gıda ambalajı hem üretici hem de tüketici açısından önemli bir unsurdur. Tüketiciler gün geçtikçe daha da bilinçlenmekte, aldıkları gıda ürünlerinin iyi korunmuş olmasına ve ürünle ilgili bilgilerin paket üzerinde yazmasına dikkat etmekte, bu nedenle de gıdaları koruyan ambalajlarda daha seçici olmaktadır. Üreticiler açısından ise ambalaj, rekabetin yoğun olduğu gıda sektöründe, tek başına bile pazar payında önemli bir yere sahiptir.

Bu rekabetçi piyasada, ambalaja gıdayı korumanın yanı sıra; marka imajını desteklemek, estetik ve görsel çekiciliği arttırmak, işlevselliği artırarak tüketiciye kolaylık sağlamak, raf ömrünü uzatmak, son tüketiciden önce ambalajın açılmadığını ispatlamak, olumsuz çevresel etkiyi en aza indirmek gibi önemli görevler düşmektedir. Bu işlevlerin sağlanabilmesi için de ambalaj üretim ve tedarik sürecinde, hem ambalaj malzemeleri hem de ambalaj makinesi üreticileri ve aynı zamanda satın alan firmalar, yeni ambalaj tasarımlarında bütün bu faktörleri göz önüne almak ve ambalaja yeni değerler katmak zorundadırlar (Tokatlı ve Hocalar 2003).

Bu bağlamda çalışmada, ambalaja çevresel açıdan yeni değerler kazandırmak amacıyla, günlük tüketim içinde oldukça önemli bir yere sahip olan ve evsel kati atıklar içerisinde de ciddi oranda yer alan gıda ambalajlarının yaşam döngüsü analizleri yapılmıştır. Buradan hareketle, gıda ambalajları için bir örnekleme yapılmış ve aşağıdaki ambalaj türleri seçilmiştir:

A) Meyve suyu ambalajları ve LCA uygulaması

A1) Cam sise

A2) Bariyer katmanlı karton kutu

B) Peynir ambalajları ve LCA uygulaması

- B1) Tamamen plastik (PP)
- B2) Teneke kutu – plastik (PE)
- B3) Karton kutu – plastik (PE/PA)

Daha sonra seçilen bu ambalaj türlerinin üretici firmalarıyla temasa geçilerek EK-2’de verilen “Veri Değerlendirme Formu”ndaki veriler temin edilmiş ve SimaPro 6.0.4. adlı bir yazılım kullanılarak her bir ambalaj türünün LCA uygulamaları yapılmıştır.

6.1. Çalışmada Kullanılan SimaPro 6.0.4. Yazılımı

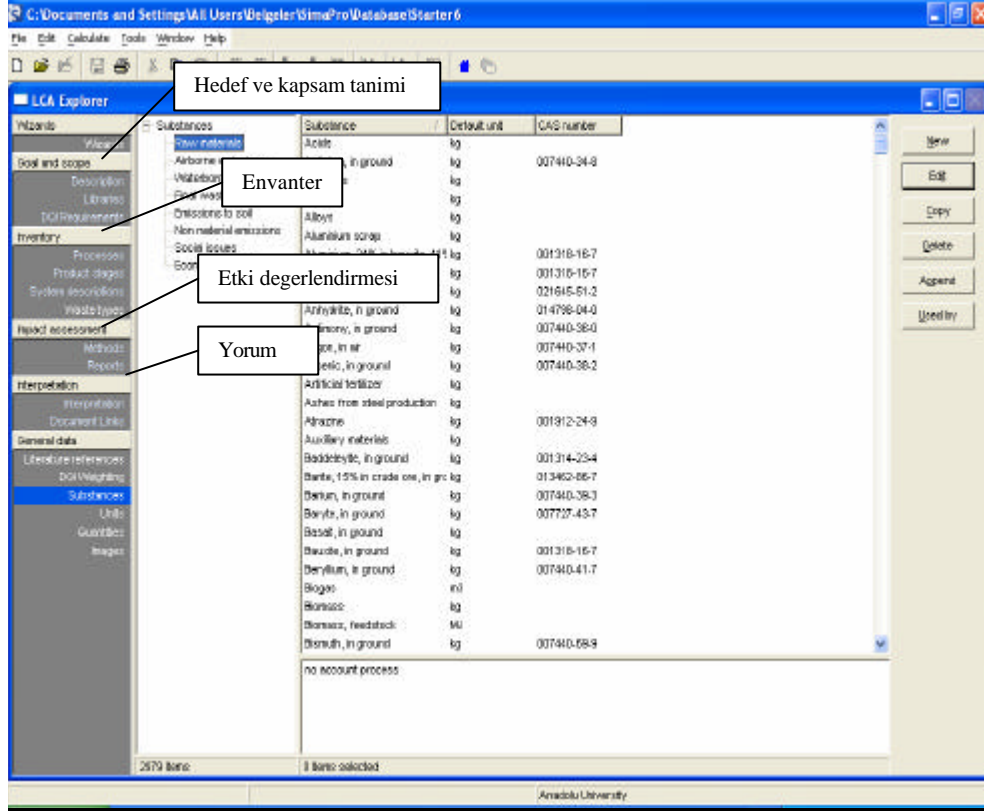
Günümüzde LCA yönteminin uygulandığı birçok ticari yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımlar, içerdikleri veri tabanına, etki değerlendirmesi yöntemlerine, ISO 14040’a uygunluklarına göre çeşitlenmektedirler. Mevcut LCA yazılımları arasında yapılan değerlendirmeye göre; ISO 14040’a uygun olması, Dünya’da en fazla kullanılan LCA yazılımı olması, içerdikleri veri tabanının ve metodların kalitesi, verilen teknik destek, kullanım kolaylığı gibi nedenlerden dolayı bu tez çalışmasında, PRè Consultants adlı bir Hollanda firmasının ürünü olan SimaPro 6.0.4. yazılımının kullanılmasına karar verilmiştir. Bu yazılımın Türkiye’de ilk ve tek lisans kullanımı, bu çalışmanın temelinde yer alan 040205 nolu BAP projesi kapsamında sağlanmıştır.

SimaPro 6.0.4. içerik olarak Şekil 6.1’den de görüleceği gibi; hedef ve kapsam (Goal and scope), envanter (Inventory), etki değerlendirmesi (Impact assessment) ve yorumdan (Interpretation) oluşan ISO 14040 aşamalarına ilaveten, kullanıma dayalı aşamalar (sihirbaz, veri kalitesi gereksinimleri, birimler, maddeler v.b.) da içermektedir.

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

Envanter aşamasında ise, veriler içeren pek çok sayıda proje ve veri bankası vardır. Hedef ve kapsam aşamasında belirtilen gereksinimler

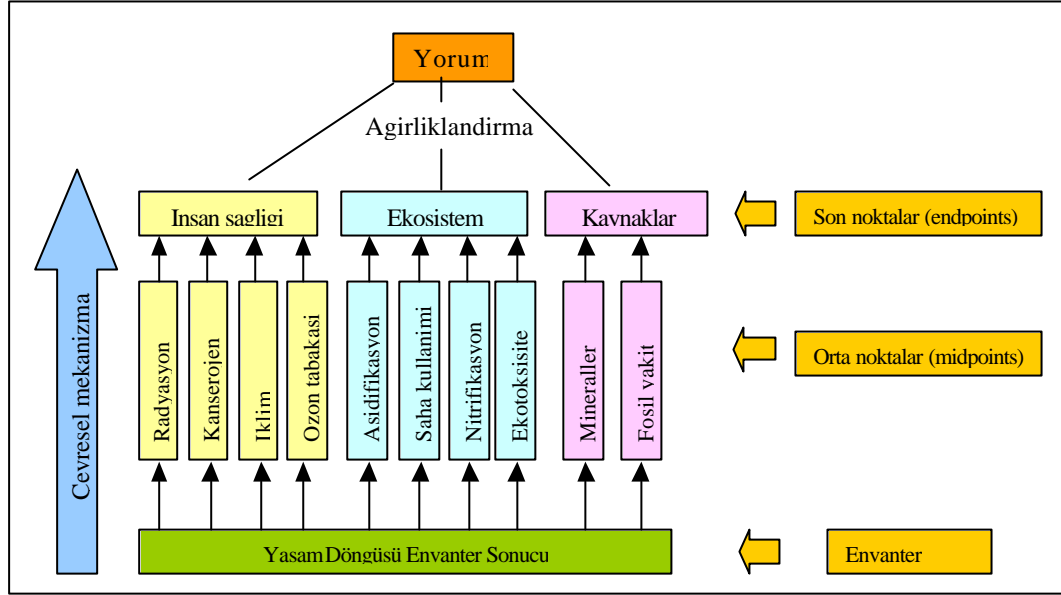
dogrultusunda, veri bankalarinda bulunan verilerden en uygun olan seçilir, ürün kümesi, yasam döngüsü ve atik/bertaraf senaryolari olusturulur.



Sekil 6.1. SimaPro 6.0.4 yaziliminin yapisi

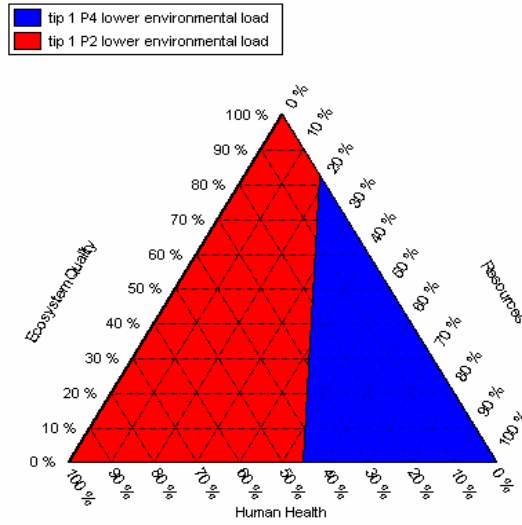
Etki degerlendirmesi asamasinda ise matematiksel hesaplamalara dayanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden de uygun olan seçilerek olusturulmus olan yasam döngüleri analiz edilir veya iki ürün/sistem/yasam döngüsü için karsilastirma yapilir. SimaPro 6.0.4 yaziliminda sistemlerin envanter analizlerinin hesaplanmasi için bir çok hesaplama metodu bulunmaktadır. Metodlarin bazilari orta nokta, bazilariysa son nokta prensibine dayanmaktadır. Orta nokta prensibine dayanan metodlarin üçüncü kisilerce anlasilmasi oldukça güçtür. Son nokta prensibine dayanan metodlarin sonuçlarinin anlasilmasi daha kolaydir ve literatürde görüldüğü üzere bu metodlar uygulayicilar tarafından daha çok tercih edilmektedir. Literatürde son nokta prensibine dayanan metodlardan en çok tercih edilenlerden birisi de Eco-indicator 99 metodudur. Bu tez çalışmasında da geniş çapta kullanilmasinin yani sıra içerdiği etki gruplarinin Çevre

Mühendisliği alanındaki çalışma konularına daha yatkın olması nedeniyle Eco-indicator 99 metodu hesaplama yöntemi olarak seçilmiştir. Şekil 6.2’de bu metod kullanılarak yapılacak olan bir çalışmanın yapısı verilmiştir.



Şekil 6.2. Eco-indicator 99 kullanılarak yapılan bir analiz yapısı

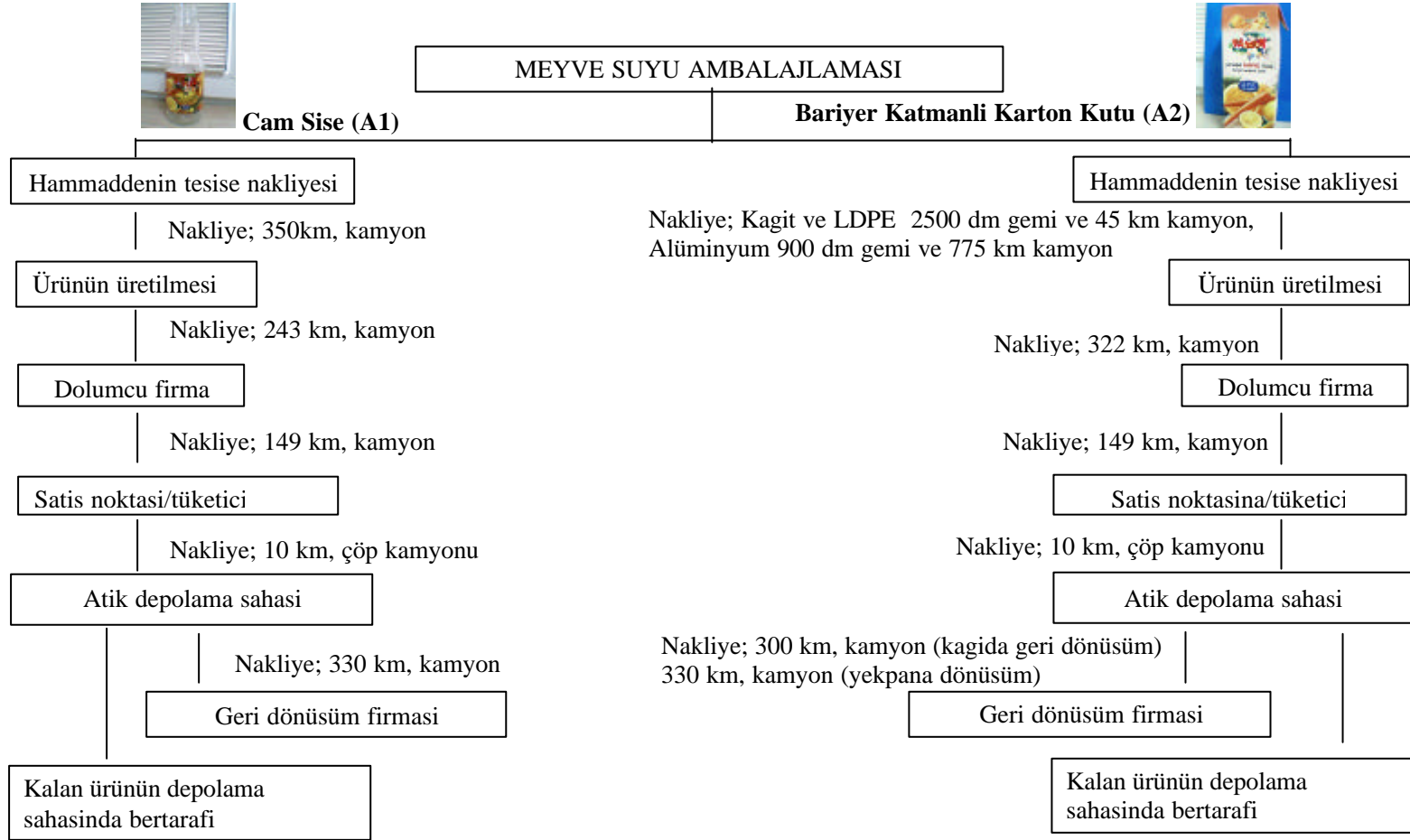
Metotta, envanter analizinden gelen verilerin Eco-indicator 99 etki değerlendirilmesinde; karakterizasyon (characterisation), zarar değerlendirilmesi (damage assessment), normalizasyon (normalisation), ağırlıklandırma (weighting) ve tek değer (single score) bölümleri içerilmektedir. ISO 14042’de belirtildiği üzere sınıflandırma ve karakterizasyon, LCA çalışmalarında bulunması gereken zorunlu bölümlerdir. SimaPro 6.0.4’de karakterizasyon bölümü, sınıflandırma (classification) bölümünü içermekte, karakterizasyon grafiği bu iki bölümün sonuçlarını vermektedir. Diğer bölümler olan normalizasyon, ağırlıklandırma ve tek değer, isteğe bağlı bölümlerdir. Yine ISO 14042’ye göre iki ürünün karşılaştırılmasına dayanan ve topluma sunulacak olan çalışmalarda, isteğe bağlı bölümler verilmemelidir. Bu nedenle, programda ikili karşılaştırmaların sonuçlarının verilmesinde ISO 14042’ye uygunluk açısından bir “karşılaştırma üçgeni” seçeneği bulunmaktadır. Bu çalışmada da tiplerin karşılaştırılmasında son nokta olarak bu üçgen kullanılmıştır (Şekil 6.3).



Sekil 6.3. Karsilastirma üçgeni

Üçgendeki kenarları metodun son noktaları olan İnsan sağlığı (Human Health), Ekosistem kalitesi (Ecosystem Quality) ve Kaynaklar (Resources) oluşturmaktadır. Bu son noktalar ve onları oluşturan orta noktalar aşağıda açıklanmıştır:

İnsan sağlığı: Bu son noktayı oluşturan orta noktalar; kanserojenler, solunan organikler, solunan inorganikler, iklim değişikliği, radyasyon ve ozon tabakasının tahribatıdır. Metotta bu etkilerin birimleri DALY (Disability Adjusted Life Years) olarak açıklanmıştır. DALY, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Bankası tarafından geliştirilmiş olan, hastalığa ve ölüme neden olan sağlık etkilerini tanımlamakta kullanılan bir birimdir. Kanser veya solunumsal etkiler gibi tüm ölüme neden olan sağlık etkileri kaybedilen yaşam yılları (YOLL) indikatörü kullanılarak tanımlanmaktadır. Solunumla ilgili sağlık etkileri akut ve kronik olarak ele alınmaktadır. 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 istatistikler, doz ve maruz kalma değeriyle birleştirilerek, belirli bir kirleticinin konsantrasyonundaki artışı nedeniyle kaç yaşam yılının kaybedildiği hesaplanabilmektedir. DALY, sadece ölümcül etkileri değil aynı zamanda ölüme hemen neden olmayan belirli bir süre acı ve ağrı vererek yaşam kalitesini düşüren



Sekil 6.6. Meyve suyu ambalajlamasında kullanılan cam sise ve bariyer katmanli karton kutunun yaşam döngüleri

Radyoaktif maddelere örnek olarak, Amerikyum-241, Uranyum-234, Karbon-14 gibi.

- **Ozon tabakasının tahribati:** Ozon tabakasında tahribata neden olan madde emisyonları sonucu artan UV radyasyonun yarattığı hasar olup DALY/kg olarak verilmiştir. Bu hasara neden olan maddelere örnek olarak CFC-115, metan, bromo-, Halon 1001 verilebilir (SimaPro Database Manuel 2004).

Ekosistem kalitesi: Ekosistem kalitesi ekotoksosite ve asidifikasyon/ötrofikasyon olmak üzere üç zarar kategorisini içermektedir.

- **Ekotoksosite:** Ekotoksosite, çevrede toksik etki altında yaşayan tüm türlerin yüzdesi olarak açıklanmaktadır. Potansiyel olarak etkilenmiş kısım (PAF) indikatör olarak kullanılmakta ve türlerin “olumsuz etkinin görülmediği konsantrasyon” (NOEC)’a esit veya daha yüksek bir konsantrasyona maruz kalmış kısmına denk gelmektedir. Bu gerçek bir zarar olmamasına rağmen, toksik etki için bir ölçüdür (Sonneman ve ark. 2004). Ekotoksik maddelerin havaya, suya ve toprağa karışması sonucu oluşan bu hasar PAF.m².yil/kg olarak ele alınmaktadır. Örn: 2,4-D (toprak), arsenik (hava), kadmiyum iyonu (su) gibi.
- **Asidifikasyon/ötrofikasyon:** Asidifikasyon ve ötrofikasyon bir kategori olarak ele alınmıştır. Doğal alanlardaki hedef türlere olan zararı değerlendirmek için görülme yüzdesi (POO) kullanılmaktadır. Eko-indikatör 99 bu kavramı potansiyel olarak kaybolan kısım (PDF) dönüştürmektedir (PDF = 1-POO). Asit oluşturma özelliğine sahip maddelerin havaya karışması sonucu oluşan bu hasar, PDF.m².yil/kg emisyon olarak ele alınmaktadır. Örn: kükürt dioksit gibi.

Doğal kaynakların tüketimi: İnsanlar her zaman düşük kaliteli kaynağı ileriye bırakarak en iyi kaynağı en önce tüketme eğiliminde olmuşlardır. Doğal kaynaklara verilen zararın sonuçlarından gelecek nesiller etkileneceğinden, kalan kaynakları kullanabilmek için daha fazla çaba harcayacaklardır. Bu fazladan çaba “fazla enerji” (surplus energy) olarak açıklanmaktadır.

- **Mineraller:** Maden filizinin seviyesinin düşmesi nedeniyle 1 kg filiz veya maden elde etmek için harcanan fazla enerji olup, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır. Örn: alüminyum, boksit, bakır gibi.
- **Fosil yakıtlar:** Düşük kaliteli kaynakların kullanımı sonucu, 1 kg veya 1 m³ fosil yakıtı elde etmek için harcanan fazla enerji, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır. Örn: kömür, doğal gaz gibi.

6.2. Meyve Suyu Ambalajlaması ve Kullanılan Ambalaj Türleri

Meyve suları, çeşitli meyvelerin preslenmesiyle elde edilirler ve meyve suyu konsantrelerinden hazırlanırlar. Bu tür ürünlerde depolama sürecinde sürekli C-vitamini kaybı olmakta ve belirgin tad değişiklikleri ortaya çıkmaktadır. Kalite kayıplarında özellikle ısı ve oksijen etkili olmaktadır. Bu nedenle kullanılacak ambalajların O₂ geçirgenliğine ilişkin pek çok araştırma yapılmıştır. Nitekim, Münih'teki "Fraunhofer Gıda Teknolojisi ve Ambalajlama Enstitüsü"nde yapılan araştırmalarda; cam siselerde kapak aracılığıyla normal sıcaklık ve basınçta 0,005 cm³.gün; bariyer katmanlı bir karton ambalajda 0,018 cm³.gün ve bariyer katmansız ambalajda ise 0,44 – 0,51 cm³ O₂ geçişi olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar ambalajın geçirgenliğinin önemini göstermektedir (Üçüncü 2000).

Meyve sularının ambalajlanmasında, cam sise, bariyer katmanlı karton kutu ve alüminyum kutu olmak üzere üç tür ambalaj kullanılmaktadır. Bu ana ambalaj türlerinde kullanım açısından bazı yardımcı elemanlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin; cam siselerde, sise dizaynına ve içeriğe göre kapak kullanılması gerekmekte; bariyer katmanlı ambalajlarda, bariyer katman olarak genellikle Al-folyo (7-9µm) kullanılmakta ve ayrıca ürünün bosaltilmesini kolaylaştıran ve tekrar kapatılabilen özel kapak sistemleri yerleştirilmekte; "kullan at" olarak tanımlanan Al-kutular ise anotsal işlemle yüzeyinde oksit tabakası oluşturulmuş malzemeden üretilmekte veya içleri laklanmaktadır (Üçüncü 2000).

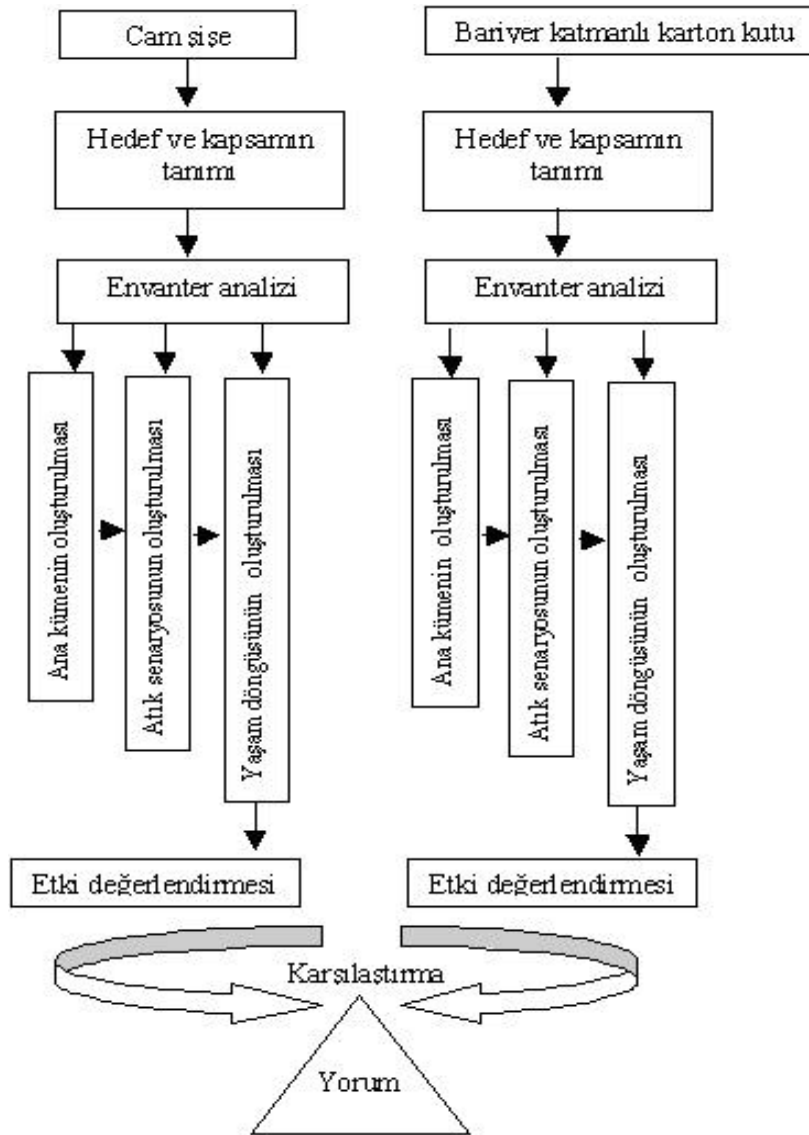
6.3. Meyve Suyu Ambalajlari ve LCA Uygulaması

Bu çalışmada meyve suyu ambalaj alternatifleri arasında en çok tercih edilen ve dolayısıyla da en çok tüketilerek kati atıklar içine karışan cam sise ve bariyer katmanlı karton kutu, LCA metodolojisi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, SimaPro 6.0.4 adlı yazılım kullanılmıştır. Yazılımın çalıştırılması için gerekli olan veriler üretici firmalardan, programın kendi veri tabanından ve literatür araştırmalarından sağlanmıştır. Bu veriler kullanılarak yapılan analizlerin akim seması Şekil 6.4'te, toplam kütle denkliği şeklinde sistemin işleyiş mekanizması EK-3'de verilmiştir.

6.3.1. Hedef ve kapsam tanımı

6.3.1.1. Hedef

Çalışmada, aynı tür meyve suyu için kullanılan bariyer katmanlı karton kutu ve cam sise ambalajları ele alınmıştır (Şekil 6.5 (a) ve (b)). Bu bağlamda, bu ambalaj üreticisi firmalarla bağlantıya geçilerek nakliye ve üretim bilgileri elde edilmiş, elde edilen verilerle SimaPro 6.0.4 yazılımının kendi veri tabanındaki veriler birlikte değerlendirilmiş, her iki ambalaj türü için yaşam döngüsü proses ağacı oluşturulmuş, etki analizleri yapılmış ve sonuçta iki ambalaj türünün yaşam döngülerinin karşılaştırılmasıyla, çevreye daha az zarar veren ambalaj çeşidinin saptanması hedeflenmiştir. Bu hedefe ek olarak ayrıca, bu tez çalışmasıyla temelleri atılacak olan ve dünya genelinde karar destek sistemi olarak tüm sektörlerde yaygın bir şekilde kullanılan LCA'nin, daha sonra yapılacak çalışmalarla, ülkemizdeki ambalaj ve diğer üretim sektörleriyle tanıştırılması da hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda bulunan sonuçlar, herhangi bir üreticiyi olumsuz etkilemeden tamamen nesnel bir tutumla, elde edilen veriler bazında, bilimsel amaçlı verilmiştir.



Sekil 6.4. Meyve suyu ambalajları LCA akim seması



(a)



(b)

Sekil 6.5. 1L'lik meyve suyu ambalajlari a) Cam sise (A1) b) Bariyer katmanli karton kutu (A2)

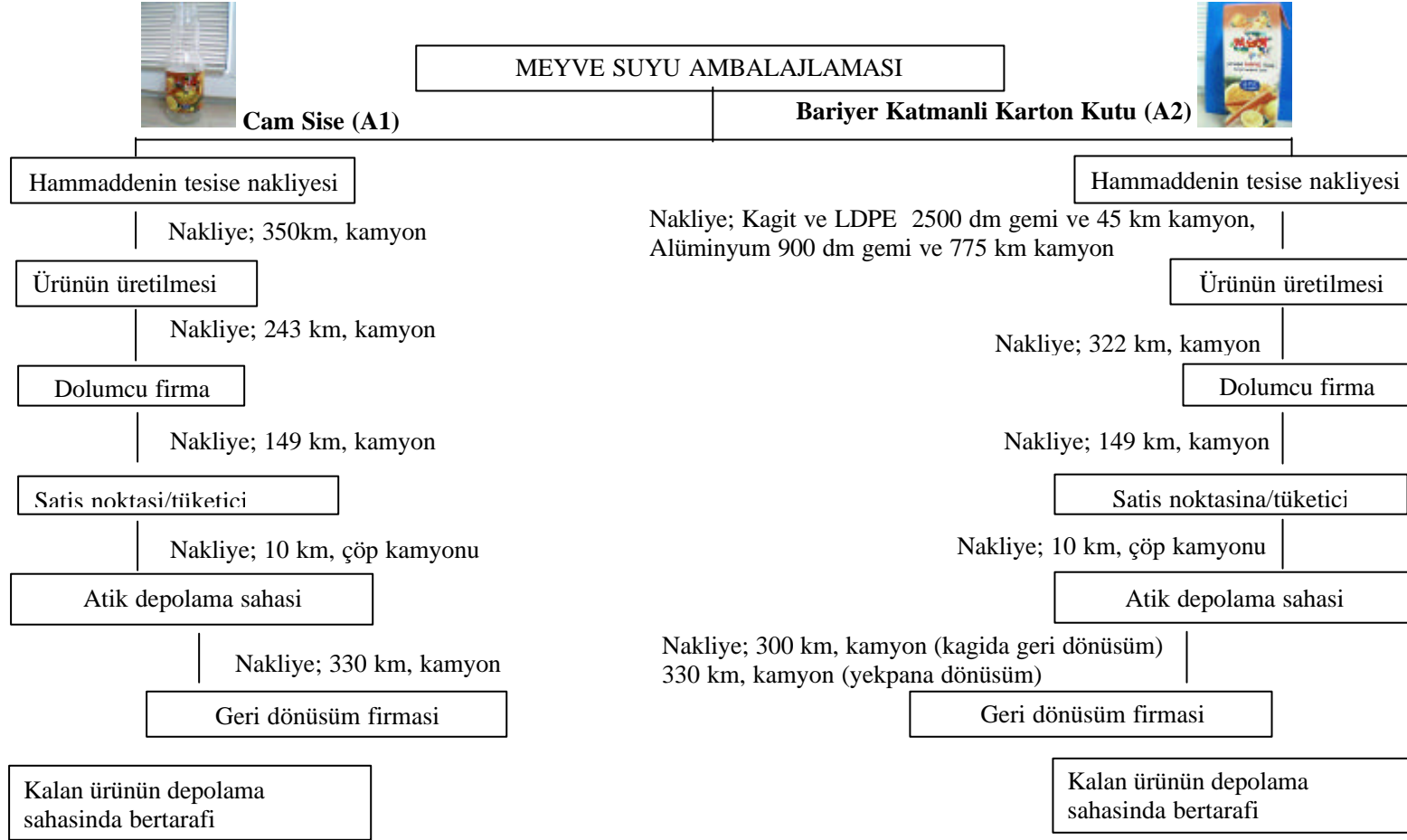
6.3.1.2. Kapsam

a) **Fonksiyonel birim** : Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak 1 L'lik meyve suyu ambalajı seçilmiştir.

b) **Sistem sınırları**: Bu çalışmada ambalajlar;

- Hammaddenin tesise nakliyesi,
- Ürünün üretilmesi,
- Ürünün dolumcu firmaya tasınması,
- Dolumcu firmadan çıkan ürünün içeriği ile birlikte tüketiciye ulaşması,
- Meyve suyunun tüketildikten sonra ambalajının depolama sahasına nakliyesi,
- Depolama sahasına gelen ambalaja uygulanacak olan atık yönetim senaryosu,
- Ambalajın geri dönüştürülecek olan kısmının bu sahadan geri dönüşüm tesisine nakliyesi ve
- Ambalajın ikinci bir materyale geri dönüşümünü kapsayan bir yaşam döngüsü çerçevesinde karşılaştırılmışlardır.

Yukarıda verilen sistem sınırları kapsamında oluşturulan meyve suyu ambalajlamasında kullanılan cam sise ve bariyer katmanlı karton kutunun yaşam döngüleri Sekil 6.6'da verilmektedir.



Sekil 6.6. Meyve suyu ambalajlamasında kullanılan cam sise ve bariyer katmanli karton kutunun yasam döngüleri

Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, ambalaj kapakları geri dönüşüm faaliyetleri içinde yer almadığından, ambalajların kapakları çalışmaya dahil edilmemiştir.

Sistem, oluşturulan atık senaryosunda geri dönüşüm sonucu ikinci bir maddenin elde edilmesiyle sınırlanmış olup, elde edilen ikincil ürünlerin yaşam döngüleri çalışmaya dahil edilmemiştir. Her iki ambalaj için de elde edilen geri dönüşüm oranları dikkate alınarak oluşturulan bu atık senaryolarında, geri dönüşümden kalan tüm ambalaj atığının depolama alanında bertaraf edildiği kabul edilmiştir.

6.3.2. Envanter Analizi

6.3.2.1. Veri toplama

Çalışmada, birim ambalaj için kullanılan hammadde ve enerji verileri ambalaj üretici firmalardan, çok kapsamlı bir şekilde hammaddelere ve enerjiye ait arka plan verileri ise programın kendi veri tabanından alınmıştır. Programın veri tabanından alınan veriler Ek-4'de A1 ve A2 için; insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynaklara zarar bazında verilmiştir.

a) 1L'lik cam ambalaja ait veriler (A1)

Cam üreticisi firmadan elde edilen bilgilere göre;

- Camın içeriğini; %72 SiO₂, % 10,5 CaO, %13 Na₂O, % 1,7 Al₂O₃, % 2 MgO oluşturmakta olup, üretimde, geri dönüştürülmüş cam kullanılmamaktadır. Toplam enerji tüketiminin % 84'ünü doğalgaz enerjisi, % 16'sini ise elektrik enerjisi oluşturmaktadır.
- Hammaddeleri nakliye işlemi ortalama 350 km'lik bir mesafede, ortalama 16 ton kapasiteli bir kamyonla gerçekleştirilmektedir.

Atık cam geri dönüşüm oranı ÇEVKO Vakfı ile yapılan görüşmeye göre % 32 olarak alınmıştır. Cam sisenin atık senaryosu ise % 5 yeniden kullanım, % 32 geri dönüşüm ve % 63 düzenli depolama olarak kurulmuştur.

b) 1L'lik bariyer katmanli karton ambalaja ait veriler (A2)

Bariyer katmanli karton kutu üreticisi firmadan elde edilen bilgilere göre;

- Bu ambalajın içeriğini; ağırlık olarak % 76,1 kagit, % 19 PE ve % 4,8 alüminyum oluşturmaktadır.
- Toplam enerji tüketiminin; %63'ünü elektrik enerjisi, % 35'ini doğalgaz enerjisi, % 2'sini ise sivilastirilmiş petrol gazından (LPG) elde edilen enerji oluşturmaktadır.
- Hammaddeleri nakliye işlemi malzeme bazında; kagit ve LDPE için ortalama 2500 deniz mili mesafede gemi ve 45 km'lik bir mesafede kamyonla; alüminyum folyo için 900 deniz mili mesafede gemi ve 775 km mesafede kamyonla gerçekleştirilmektedir.

Bu ambalajı üreten firmadan alınan geri dönüşüm bilgilerine göre, üretilen bariyer katmanli karton ambalajın % 25,92'si geri dönüşüme ugramakta, bu degerin % 50'sini kagida olan geri dönüşüm, diger % 50'lik kismini ise sikistirilmiş yonga levhalara (yekpan) olan geri dönüşüm oluşturmaktadır. Bu ambalaj türünün atık senaryosu bu degerlere göre kurulmuştur.

Bariyer katmanli karton kutuyu kagida geri dönüstüren firmadan alınan bilgiye göre; islenen 1 Kg bariyer katmanli kutu basina 1,746 MJ elektrik enerjisi ve enerji içeriği yaklaşık 4500 kcal/kg olan 0,27 kg kömür kullanılmaktadır.

Bariyer katmanli karton kutuyu sikistirilmiş yonga levhalara geri dönüstüren firmadan alınan bilgiye göre; üretilen 1 Kg sikistirilmiş yonga levha basina harcanan elektrik enerjisi 0,882 MJ'dür.

6.3.2.2. Varsayımlar

Ambalajların üretildikten sonra Bursa'da bulunan dolumcu firmaya ulaşması, doldurulan ambalajların Eskisehir'de yaşadığı düşünölen bir tüketiciye ulaşması, tüketimden sonra belli bir oranin geri dönüşüm yapan firmaya gitmesi ve geri kalan ambalajın düzensiz (vahsi) depolama sahasına tasınması işlemlerinde çeşitli varsayımlarda bulunulmuş, bu varsayımlara göre katedilen mesafeler yaklaşık olarak aşağıda verilmiştir (http-21).

- Istanbul - Bursa arasi: 243 km
- Istanbul - Eskisehir arasi: 330 km
- Izmir – Bursa arasi: 322 km
- Bursa – Eskisehir arasi: 149 km
- Eskisehir – Ankara arasi: 300 km
- Eskisehir merkez - Eskisehir depolama sahasi arasi: 10 km

Karayolu tasimasinda kullanılan araç türü, 16 ton kapasiteli kamyon olarak kabul edilmistir.

Cam sise ve bariyer katmanli karton ambalajin geri dönüşümüne yönelik olarak Eskisehir’e ait veri bulunmadigindan, bu ambalajlarin Türkiye genelinde olan geri dönüşüm verileri kullanilmistir.

Türkiye’de kullanılan elektrik enerjisi büyük oranda, TEDAS ve Elektrik Isleri Etüd Idaresi’nden alınan bilgiye göre, termik santrallerden saglanmaktadır. Bu çalışmada da, kullanılan tüm elektrik enerjisi kaynaklari, termik santral kökenli olarak ele alınmistir.

6.3.2.3. Hesaplama prosedürü

Bu çalışmada elde edilen tüm veriler, ele alınan ambalajlarin 1 L’ye denk gelen ağırlıkları basına hesaplanarak, tasima verileri ise, tasinan malzemenin ağırlık degeri ve alınan mesafe degerinin çarpilmasiyla bulunan “kgkm” birimi cinsinden hesaplanarak yazilimda kullanilmistir.

6.3.3. Etki Analizi

Bu çalışmada kullanılan Eco-indicator 99 hesaplama yönteminde bulunan etki gruplari;

- kanserojenler,
- solunan organikler,
- solunan inorganikler,
- iklim degisikligi,
- radyasyon,

- ozon tabakasi tahribati,
- ekotoksisite,
- asidifikasyon/ötrofikasyon,
- mineraller ve
- fosil yakitlar olarak ele alinmistir.

Bu yöntemin kullanilmasiyla yapilan karsilastirma isleminde yukarida verilen etki gruplari, “insan sagligi”, “ekosistem kalitesi” ve “kaynaklar” olmak üzere üç grupta toplanmistir.

Etki analizi sonucu bulunan degerlendirme sonuclari Bulgular’da (Bölüm 7) verilmistir.

6.3.4. Yorum

Çalisanin yorum asamasi, etki analizinden bulunanlari bir degerlendirmesi oldugu için, yine Bulgular’da (Bölüm 7) verilmistir.

6.4. Peynir Ambalajlamasi ve Kullanilan Ambalaj Türleri

Eskiden peynirlerin ambalajlanmasinda taze yapraklar, saz (hasir otu), sögüt dallarindan örölmüs sepetler, çam, köknar gibi agaçlardan hazirlanmis çeşitli kaplar, toprak kaplar, keçi ve koyun tulumlari, keten dokumalar ve benzerleri kullanilmakta idi. Bu dogal ambalaj malzemelerinden günümüzde de bazi ölkelerde yararlanilmaktadir. Ancak endüstriyel ölçekte peynir üretiminde; kagit ve plastik esasli saricilar, alüminyum gibi metal folyolar, parafin veya mum ya da plastik dispersiyon kaplamalar ile söz konusu materyallerin kombinasyonlari kullanilmaktadir. Sarici ambalajlari yani sira; posetler, torbalar, teneke kutular, plastik esasli kaplar ve fiçilardan da yararlanilmaktadir (Üçüncü 2000).

Peynirlerin ambalajlanmasina uygun malzeme seçiminde, peynirin çeşidi, özelligi ve beklenen dis etkiler önemli rol oynarlar. Bu baglamda çeşitli peynirler için uygun olan ambalaj malzemeleri Çizelge 6.1’de genel düzeyde verilmistir. Belirtilen bu malzemelere, bazi isleme veya yüzeysel iyileştirme uygulamalariyla,

farkli düzeylerde su buhari ve gaz geçirgenligi veya geçirmezligi, ık ve yağ geçirmezligi ve isil kaynaklanabilme özelligi kazandırılabilir. Bu çizelgede belirtilen ambalaj malzemelerinin bir bölümü koruyucu ambalaj olarak, bazilari olgunlaştırma folyolari ve dis ambalaj olarak görev yapmaktadırlar (Üçüncü 2000).

Çizelge 6.1. Bazı peynir çeşitlerine uygun ambalaj malzemeleri (Üçüncü 2000)

Peynir çeşitleri	Ambalaj malzemeleri ve ambalajlar
<ul style="list-style-type: none"> • Küf ile olgunlaştırılan peynirler 	<ul style="list-style-type: none"> - Alüminyum folyolar; lakli veya laksiz, kagit ve plastik esasli materyallerle kaplanmış veya kaplanmamis, perfore edilmiş veya edilmemiş. Laklanmış veya kaplanmış selofan.
<ul style="list-style-type: none"> • Dayanikli küflü peynirler 	<ul style="list-style-type: none"> - Metal veya plastik kutular
<ul style="list-style-type: none"> • Brie ve Limburger tipi peynirler 	<ul style="list-style-type: none"> - Vakslanmış veya vakslanmamis parsömen vb. kagitlar - Laklanmış ve/veya kaplanmış metal folyolar
<ul style="list-style-type: none"> • Sert ve yari sert peynirler 	<ul style="list-style-type: none"> - Parafin veya vaks kaplamalar - Plastik dispersiyon kaplamalar - Plastik saricilar, poset veya torbalar veya plastiklerin diger ambalaj malzemeleriyle olusturdugu çok katli materyaller - Selüloz esasli saricilar: Yüzeyleri nitroselüloz veya PVDC ile kaplanmış - Bitkisel yağ ve mineral yağ esasli kaplamalar
<ul style="list-style-type: none"> • İtalyan tipi sert ve yari sert peynirler 	<ul style="list-style-type: none"> - Çesitli topraklar ve mineral esasli kaplamalar
<ul style="list-style-type: none"> • Salamura peynir 	<ul style="list-style-type: none"> - Teneke ve plastik kaplar
<ul style="list-style-type: none"> • Rendelenmiş peynirler 	<ul style="list-style-type: none"> - Çok katli plastik veya alüminyum esasli torbalar, azot gazi esliginde ambalajlama - Teneke, PS veya içi lakli alüminyum folyo ile kaplanmış kartondan hazirlanan kutular.

6.5. Peynir Ambalajlari ve LCA Uygulamasi

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan, aynı tür peynirin ambalajlanmasında kullanılan ambalaj tipleri şu şekildedir:

- B1) tamamen plastik (PP)
- B2) teneke – plastik (PE)
- B3) karton kutu – plastik (PE/PA)

Yukarıda verilen bu ambalaj türleri, LCA metodolojisi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, SimaPro 6.0.4 adlı yazılım kullanılmıştır. Yazılımın çalıştırılması için gerekli olan veriler üretici firmalardan, programın kendi veri tabanından ve literatür araştırmalarından sağlanmıştır.

6.5.1. Hedef ve kapsam tanımı

6.5.1.1. Hedef

Çalışmada, aynı tür peynir için kullanılan ve yukarıda verilen ambalaj türleri ele alınmıştır (Şekil 6.7 (a), (b) ve (c)). Bu bağlamda, bu ambalaj üreticisi firmalarla bağlantıya geçilerek nakliye ve üretim bilgileri elde edilmiştir. Elde edilen verilerle SimaPro 6.0.4 yazılımının kendi veri tabanındaki veriler birlikte değerlendirilmiştir.

Çalışmada uygulanan aşamalar Şekil 6.8’de verilmiş ve aşağıda açıklanmıştır:

- Birinci aşama olarak, her üç ambalaj türünü kendi içinde farklı atık senaryoları açısından karşılaştırarak ele alınan ambalaj için en iyi atık senaryosunun belirlenmesi,
- İkinci aşama olarak, en iyi atık senaryolu üç ambalaj türünü karşılaştırarak en iyi iki ambalaj türünün belirlenmesi,
- Üçüncü ve son aşama olarak, en iyi iki ambalaj türünü karşılaştırarak, üç ambalaj türü içerisinde, en iyi atık senaryosuyla uygulandığı zaman çevreye en az zararı veren ambalaj türünün belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu hedefe ek olarak ayrıca, bu tez çalışmasıyla temelleri atılacak olan ve dünya genelinde karar destek sistemi olarak tüm sektörlerde yaygın bir şekilde kullanılan LCA’nın, daha sonra yapılacak çalışmalarla, ülkemizdeki ambalaj ve diğer üretim sektörleriyle tanıtılması da hedeflenmiştir.

Bu hedefler doğrultusunda bulunan sonuçlar, herhangi bir üreticiyi olumsuz etkilemeden tamamen nesnel bir tutumla, elde edilen veriler bazında, bilimsel amaçlı olarak verilecektir.



(a)



(b)

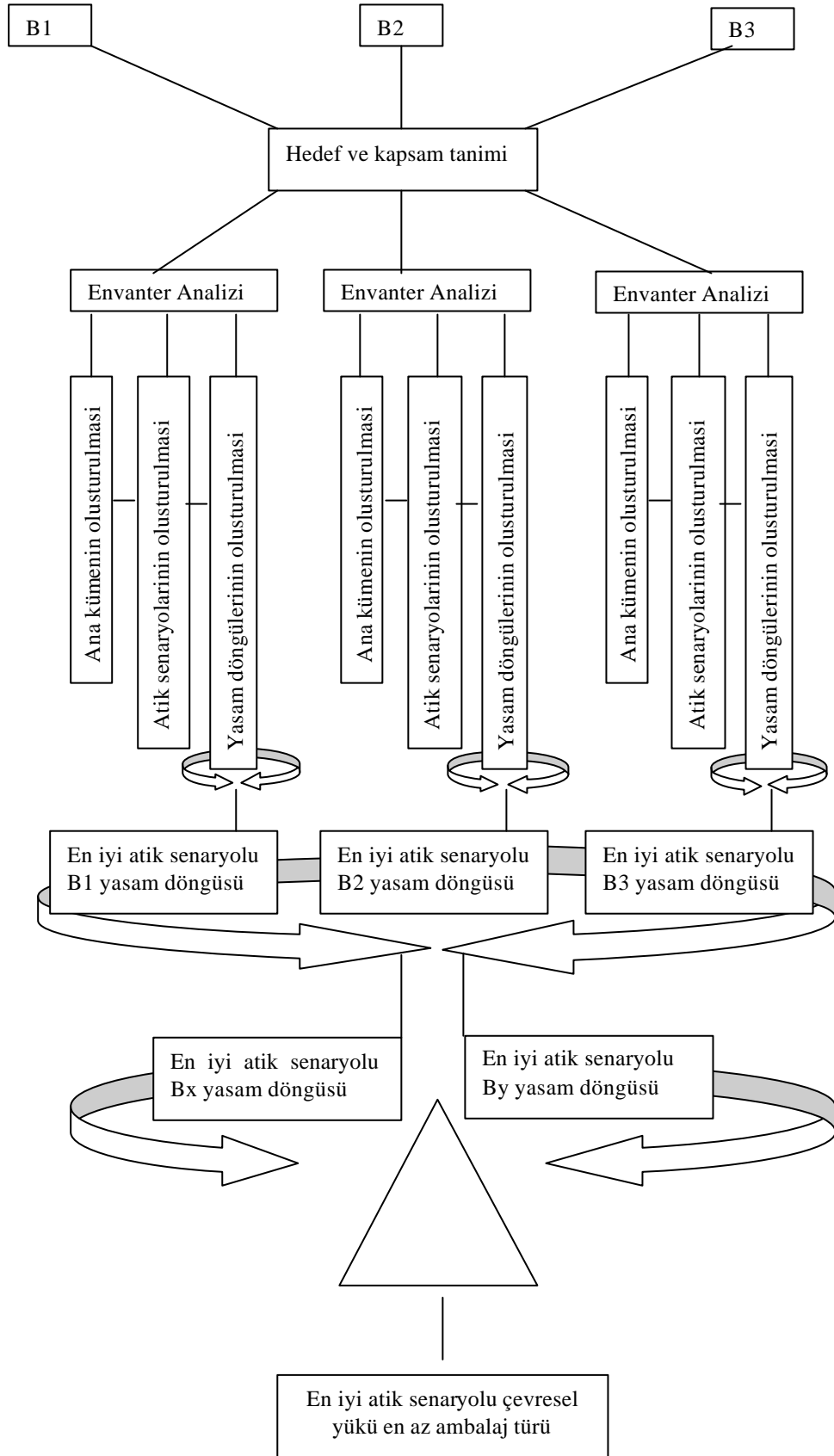


(c)

Sekil 6.7. 1Kg'lık peynir ambalajlari a) Tamamen plastik kutu (B1) b) Plastik kapakli teneke kutu (B2) c) Plastik iç posetli karton kutu (B3)

6.5.1.2. Kapsam

- a) **Fonksiyonel birim:** Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak 1 Kg'lık peynir ambalajı seçilmiştir.
- b) **Sistem sınırları:** Bu çalışmada ambalajlar;
- Hammaddenin tesise nakliyesi,
 - Ürünün üretilmesi,
 - Ürünün dolumcu firmaya tasınması,
 - Dolumcu firmadan çıkan ürünün içeriği ile birlikte tüketiciye ulaşması,
 - Peynirin tüketildikten sonra ambalajının depolama sahasına nakliyesi,
 - Depolama sahasına gelen ambalaja uygulanacak olan atık yönetim senaryosu,



Sekil 6.8. Peynir ambalajlarının yasam döngüsü analizinde uygulanan asamalar

- Ambalajın geri dönüştürülecek olan kısmının bu sahadan geri dönüşüm tesisine nakliyesi ve
- Ambalajın ikinci bir materyale geri dönüşümünü kapsayan bir yaşam döngüsü çerçevesinde karşılaştırılmışlardır.

Yukarıda verilen sistem sınırları kapsamında oluşturulan peynir ambalajlamasında kullanılan B1, B2 ve B3'ün yaşam döngüleri Şekil 6.9'da verilmiştir.

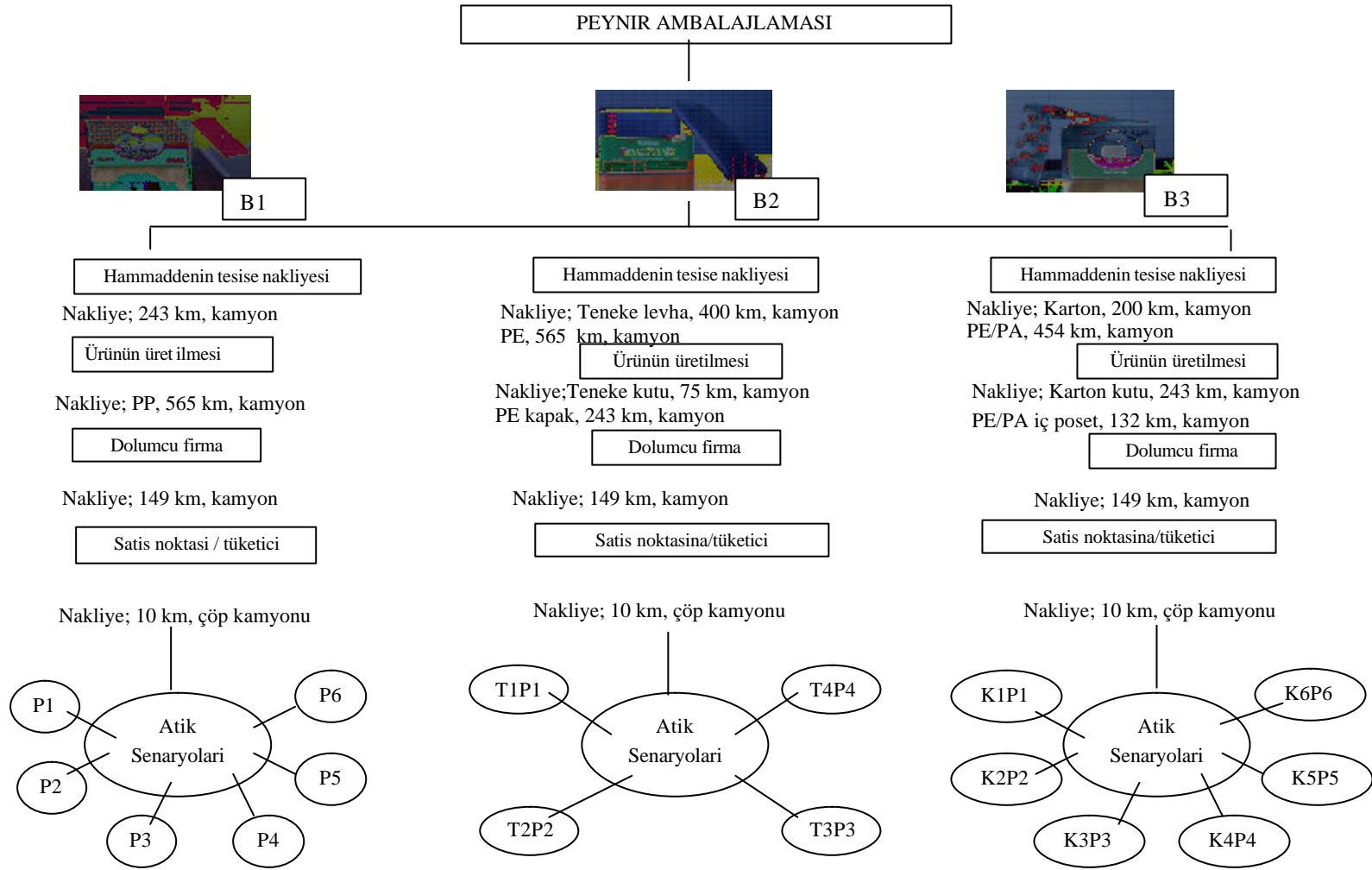
Sistem, oluşturulan atık senaryosunda geri dönüşüm sonucu ikinci bir maddenin elde edilmesiyle sınırlandırılmış olup, elde edilen ikincil ürünlerin yaşam döngüleri çalışmaya dahil edilmemiştir. Her üç ambalaj için oluşturulan atık senaryolarında ise kalan tüm ambalaj atığının depolama alanında bertaraf edildiği kabul edilmiştir.

6.5.2. Envanter Analizi

Çalışmada, birim ambalaj için kullanılan hammadde ve enerji verileri ambalaj üretici firmalardan, çok kapsamlı bir şekilde hammaddelere ve enerjiye ait arka plan verileri ise programın kendi veri tabanından alınmıştır. Programın veri tabanından alınan veriler Ek-5'de B1, B2 ve B3 için; insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynaklara zarar bazında verilmiştir.

6.5.2.1. B1'e ait toplanan veriler

- Üretim sırasında herhangi bir hammadde kaybı söz konusu olmadığından, ambalajın ağırlığı kullanılan hammaddenin miktarına eşittir. Söz konusu ambalaj 46 g geldiğinden, bu ambalajın üretimi için granüle halde 46 g PP kullanılmıştır.
- Bu ambalaj türü için kullanılan enerji tamamen elektrik enerjisinden oluşmaktadır.
- Hammadde, İzmir'de bulunan büyük bir kimya endüstrisinden gelmektedir.



Sekil 6.9. Peynir ambalajlamasında kullanılan ambalaj türlerinin yaşam döngüleri

- PP kutu ve kapagi Istanbul'da bulunan üretici firmadan, Bursa'da bulunan dolumcu firmaya nakledilmektedir.

6.5.2.2. B2'ye ait toplanan veriler ve varsayımlar

a) Toplanan veriler

- Bir peynir tenekesinin hammaddesinin % 96'lik kısmi tenekeden olmaktadır. Bu çalışmada da bu kısım üzerinde durulacaktır.
- Kullanılan enerjinin % 72,7'sini LPG'den elde edilen enerji, % 26,9'unu elektrik enerjisi, % 0,4'ünü ise dogal gaz enerjisi oluşturmaktadır. Elektrik enerjisi şehir şebekesinden sağlanmaktadır.
- Hammaddelerin % 96'sini oluşturan teneke levha, 400 km'lik bir mesafeden gelmektedir.
- Teneke kutu Bandırma'da bulunan üretici firmadan, Bursa'da bulunan dolumcu firmaya nakledilmektedir.

b) Varsayımlar

- B2'yi oluşturan bileşenlerden PE kapak için ayrıca üretim bilgisi bulunamadığından, kullanılan hammaddenin B1'de olduğu gibi tamamen ürünün kendi ağırlığına eşit olduğu varsayılmıştır.
- Bu ambalaj bileşenine ait enerji verisi ise aynı üretim teknolojisinin kullanılması nedeniyle B1 ile aynı olarak alınmıştır.
- Hammadde, İzmir'de bulunan büyük bir kimya endüstrisinden gelmektedir.

6.5.2.3. B3'e ait toplanan veriler ve varsayımlar

a) Toplanan Veriler

- Karton kutu üretiminde kullanılan hammadde % 93 bobin halinde temin edilen karton olup çalışmada bu kısım ele alınacaktır.
- Karton kutu üretimi için kullanılan enerjinin % 67'sini fuel oilden elde edilen enerji, % 37'sini ise elektrik enerjisi oluşturmaktadır.
- Karton bobin 200 km'lik bir mesafeden nakliye edilmektedir.

- PE, İzmir’de bulunan büyük bir kimya endüstrisinden gelmektedir.
- Karton kutu İstanbul’daki üretici firmadan, Bursa’da bulunan dolumcu firmaya nakliye edilmektedir.
- PE/PA iç poset Kocaeli’nde bulunan üretici firmadan, Bursa’da bulunan dolumcu firmaya nakliye edilmektedir.

b) Varsayımlar

- İç poset (PE/PA) veri bulunamadığından sadece PE olarak ele alınmış, hammadde miktarı ürün miktarıyla aynı olarak kabul edilmiştir. Enerji verisi de elde edilemediğinden, B1 verileri kullanılmıştır.

6.5.2.4. Genel Varsayımlar

Ambalajların üretildikten sonra Bursa’da bulunan dolumcu firmaya ulaşması, doldurulan ambalajların Eskisehir’de yaşadığı düşünülen bir tüketiciye ulaşması, tüketimden sonra belli bir oranın geri dönüşüm yapan firmaya gitmesi ve geri kalan ambalajın depolama sahasına taşınması işlemlerinde çeşitli varsayımlarda bulunulmuş, bu varsayımlara göre katedilen mesafeler yaklaşık olarak aşağıda verilmiştir (http-21).

- İstanbul - Bursa arası: 243 km
- İstanbul - Eskisehir arası: 330 km
- Bandırma – Bursa arası: 75 km
- İzmir – Kocaeli arası: 454 km
- Kocaeli – Bursa arası: 132 km
- Bursa – Eskisehir arası: 149 km
- Eskisehir – Ankara arası: 300 km
- Eskisehir merkez - Eskisehir depolama sahası arası: 10 km

Karayolu taşımasında kullanılan araç türü, 16 ton kapasiteli kamyon olarak kabul edilmiştir.

Türkiye’de kullanılan elektrik enerjisinin büyük oranda, TEDAS ve Elektrik İşleri Etüd Idaresi’nden alınan bilgiye göre, termik santrallerden sağlanmaktadır. Bu çalışmada da, kullanılan tüm elektrik enerjisi kaynakları, termik santral kökenli olarak ele alınmıştır.

6.5.2.5. Atik senaryolari

Çizelge 6.2. B1'in atik senaryolari: PP kap + PP kapak (kap ve kapak aynı malzemeden olduğu için tek parça olarak "P" ele alınmıştır)

Atik senaryosu no.	Yeniden kullanım (%)	Geri dönüşüm (%)	Yakma (%)	Düzenli depolama (%)
B1 P1				100
B1 P2	25			75
B1 P3		25		75
B1 P4	10	25		65
B1 P5	10	25	50	15
B1 P6			50	50

Çizelge 6.3. B2'nin atik senaryolari: Tenekeli kap (T)+ PE kapak (P)

Atik senaryosu no.	Yeniden kullanım (%)	Geri dönüşüm (%)	Yakma (%)	Düzenli depolama (%)
B2 T1P1				100
B2 T2P2	25			75
B2 T3P3		25		75
B2 T4P4	10	25		65

Çizelge 6.4. B3'ün atik senaryolari: Karton kutu (K)+ PA/PE iç poset (P)

Atik senaryosu no.	Yeniden kullanım (%)	Geri dönüşüm (%)	Yakma (%)	Düzenli depolama (%)
B3 K1P1				100
B3 K2P2	K2	5		95
	P2		30	70
B3 K3P3	K3		30	70
	P3		35	50
B3 K4P4	K4	5	30	65
	P4			50

Çizelge 6.4. (devam) B3'ün atık senaryoları: Karton kutu (K)+ PA/PE iç poset (P)

Atık senaryosu no.		Yeniden kullanım (%)	Geri dönüşüm (%)	Yakma (%)	Düzenli depolama (%)
B3 K5P5	K5	5	30	50	15
	P5				100
B3 K6P6	K6			50	50
	P6				100

6.5.2.6. Hesaplama prosedürü

Bu çalışmada elde edilen tüm veriler, ele alınan ambalajların 1Kg'ına denk gelen ağırlıkları basına hesaplanarak, taşıma verileri ise, taşınan malzemenin ağırlık değeri ve alınan mesafe değerinin çarpılmasıyla bulunan “kgkm” birimi cinsinden hesaplanarak yazılımda kullanılmıştır.

6.5.3. Etki Analizi

Bu çalışmada kullanılan Eco-indicator 99 hesaplama yönteminde bulunan etki grupları;

- kanserojenler,
- solunan organikler,
- solunan inorganikler,
- iklim değişikliği,
- radyasyon,
- ozon tabakası tahribatı,
- ekotoksikite,
- asidifikasyon/ötrofikasyon,
- mineraller ve
- fosil yakıtlar olarak ele alınmıştır.

Bu yöntemin kullanılmasıyla yapılan karşılaştırma işleminde yukarıda verilen etki grupları, “insan sağlığı”, “ekosistem kalitesi” ve “kaynaklar” olmak üzere üç grupta toplanmıştır.

Etki analizi sonucu bulunan değerlendirme sonuçları Bulgular’da (Bölüm 7) verilmiştir.

6.5.4. Yorum

Çalışmanın yorum aşaması, etki analizinden bulunanların bir değerlendirmesi olduğu için, yine Bulgular’da (Bölüm 7) verilmiştir.

7. BULGULAR

7.1. Meyve Suyu Ambalajlarının LCA Sonuçları ve Sonuçların Değerlendirilmesi

7.1.1. A1 (Cam sise)'in yaşam döngüsü analizi

A1'in yaşam döngüsü;

- A1'in üretimi
- Toplam karayolu taşımacılığı
- A1'in atık senaryosu

olmak üzere üç aşamada ele alınmış, bu aşamalar

- Zarar sınıflarına göre (Şekil 7.1 (a))
- Zarar değerlendirmesine göre (Şekil 7.1 (b)) ve
- Yaşam döngüsü aşamalarına göre (Şekil 7.1 (c))

karsılaştırılmışlardır.

Şekil 7.1 (a)'da, Şekil 7.1 (b) ve Şekil 7.1 (c)'de verilen ve son noktalar olan insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynakları oluşturan orta noktalar (kanserojenler, solunan organikler, solunan inorganikler, iklim değişikliği, radyasyon, ozon tabakası, ekotoksisite ve asidifikasyon/ötrofikasyon, mineraller ve fosil yakıtlar) açısından bir karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma grafiği, A1'in, ele alınan aşamalarının (%) olarak her bir zarar sınıfına olan katkılarını göstermektedir. Burada yapılan karşılaştırma zarar sınıfları bazında olduğu için, grafikte görülen barlar birbirinden bağımsız olup grafiğin en üst noktasının tüm zarar sınıfları için aynı değerde olması bu anlamda 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 7.1 (b)'den görüldüğü üzere, ele alınan zarar sınıflarına en fazla etki A1'in üretimi ve toplam karayolu taşımacılığından kaynaklanmaktadır.

Kanserojenler, iklim degisikligi ve mineraller açisindan en fazla etki A1'in üretim asamasindan kaynaklanmakta, bunun hammadde kullanımindan oldugu düşünölmektedir.

Solunan organikler, solunan inorganikler, radyasyon, ozon tabakasinin tahribi, ekotoksisite ve asidifikasyon/ötrofikasyon açisindan ise en fazla etkiyi, yakittan kaynaklandigi düşünölen toplam karayolu tasimaciligi olusturmaktadır.

Fosil yakitlar açisindan, A1 üretiminin ve toplam karayolu tasimaciliginin katkıleri aynidir. Bu katkıyi, üretim asamasinda yüksek sicakliklarda firinlar kullanilmasinin ve bu firinlarda kullanılan yakittan; tasima asamasinda ise ambalajin kendi agirligina ilaveten içindeki meyve suyunun da katkısiyla daha agir hale gelmesi ve sehirlere arasi yollarda bu agirliğin neden oldugu fazla yakit tüketiminden olustugu düşünölmektedir.

A1'in bertaraf senaryosunun seçilen yeniden kullanım, geri dönüşüm ve düzenli depolama senaryosu açisindan genelde olumlu etkilerinin oldugu fakat, azot oksitler, kükürtdioksitler ve amonyaktan kaynaklanan asidifikasyon / ötrofikasyona ise çok az bir etkisinin oldugu görölmektedir.

Değerleri % olarak verilen Sekil 7.1 (b)'nin sonuçlarini, Sekil 7.1 (a) olusturmaktadır. Yasam döngüsü asamalarına göre karsilastirmanin yapıldigi Sekil 7.1 (c)'de ise ilk iki seklin sonuçlarinin isiginda, A1'in yasam döngüsünde en fazla etkinin tasimadan kaynaklandigi, tasimanin ise en fazla dogal kaynaklari etkiledigi görölmektedir.

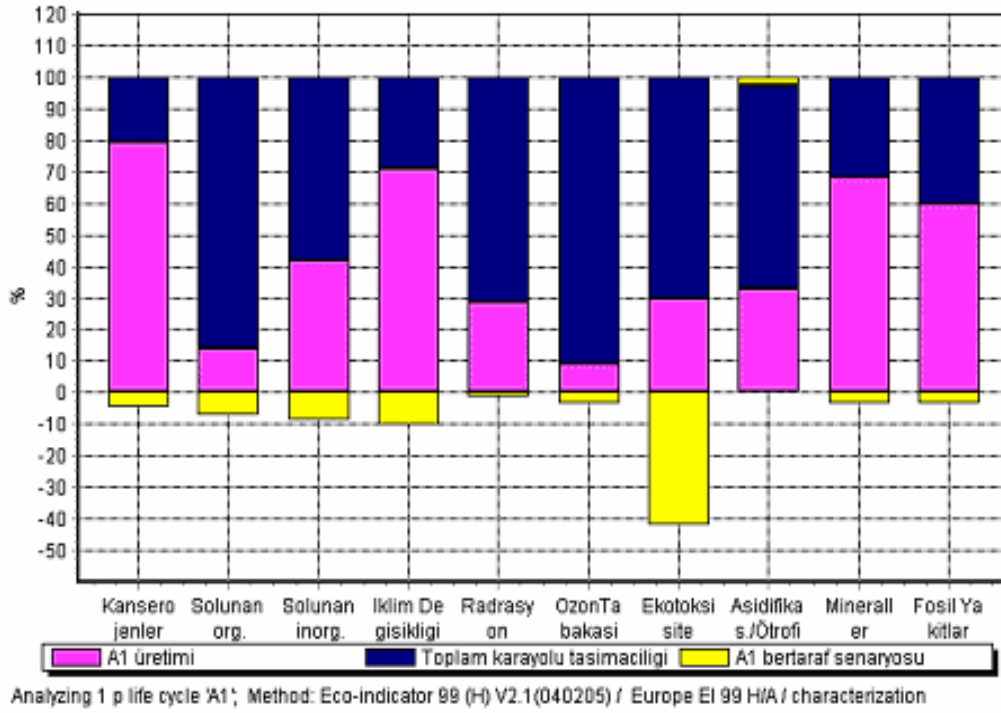
7.1.2. A2 (Bariyer katmanli karton kutu)'nin yasam döngüsü analizi

A2'nin yasam döngüsü asamalarini;

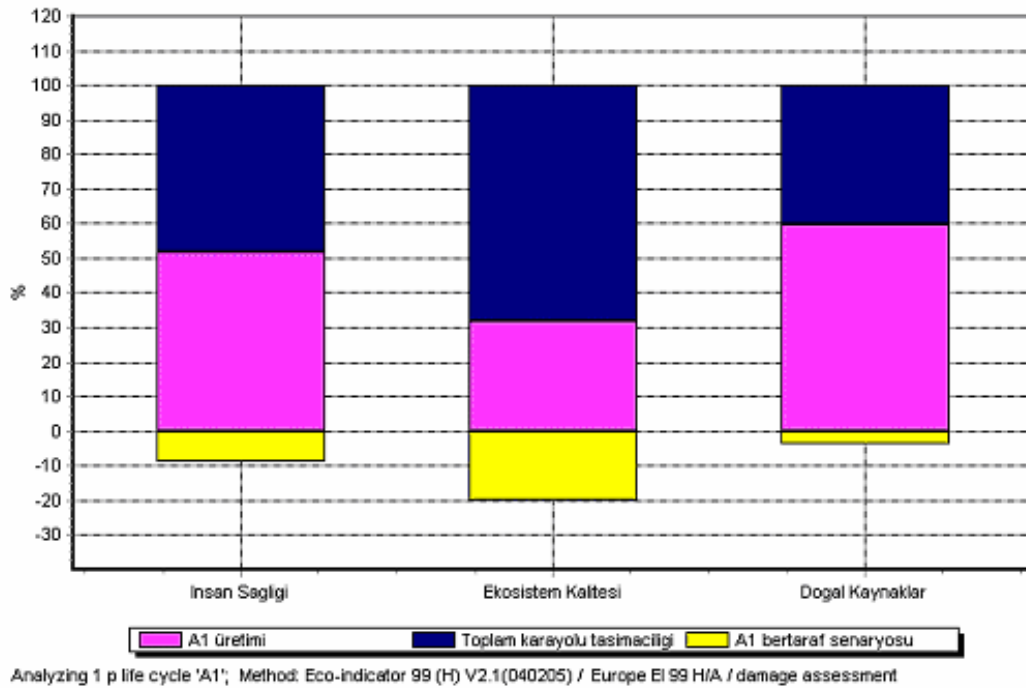
- A2'nin üretimi,
- Toplam deniz yolu tasimaciligi
- Toplam kara yolu tasimaciligi ve
- A2 atik senaryosu

olusturmaktadır.

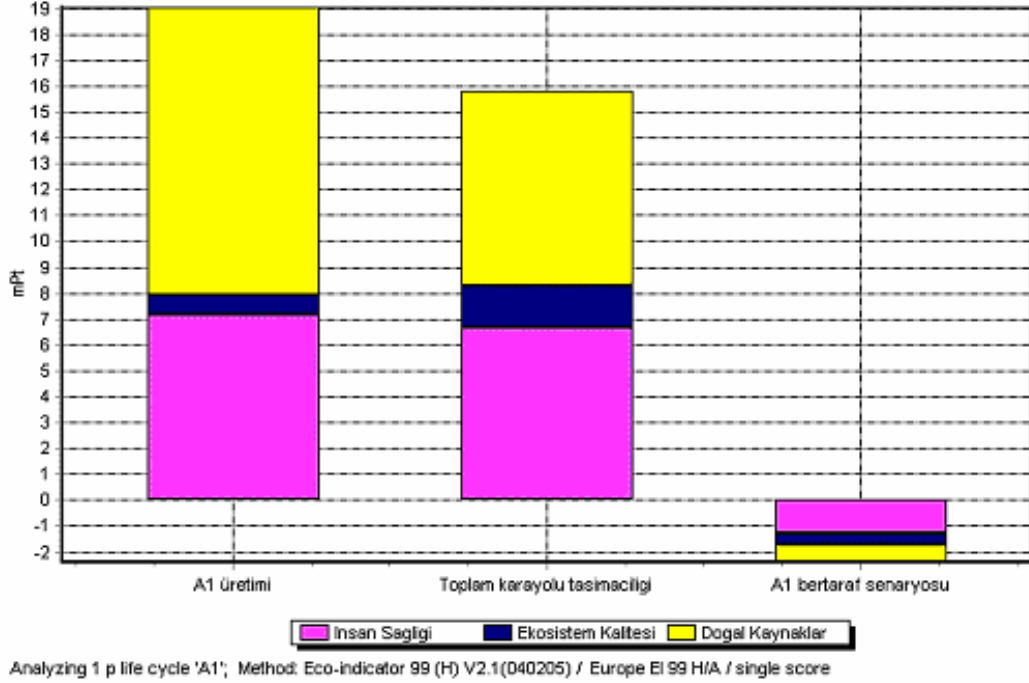
Bu asamaların ilk olarak zarar siniflarina göre karsilastirildigi Sekil 7.2 (a) da;



(a) Zarar sınıflarına göre



(b) Zarar değerlendirmesine göre



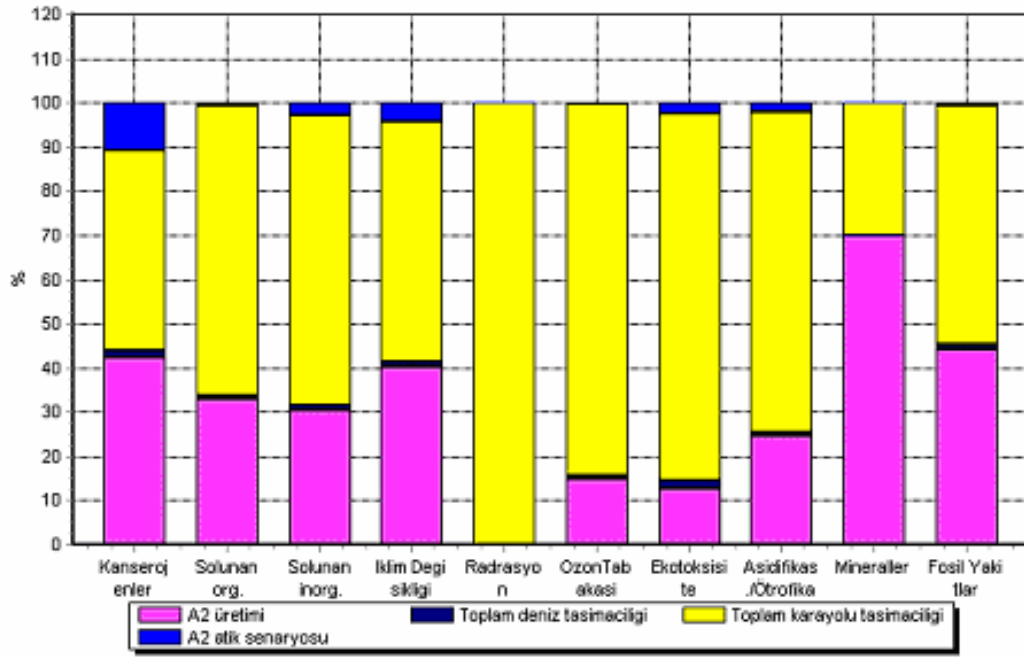
(c) Yasam döngüsü asamalarına göre

Sekil 7.1. A1 (Cam sise)'in LCA sonuçları

- Tüm zarar sınıflarında en fazla etkiyi karayolu tasimaciliginin olusturdugu ve onu üretim asamasinin takip ettigi
- Atık senaryosu ve deniz yolu tasimaciliginin ise nispeten çok az etkiye sahip oldugu görülmektedir.

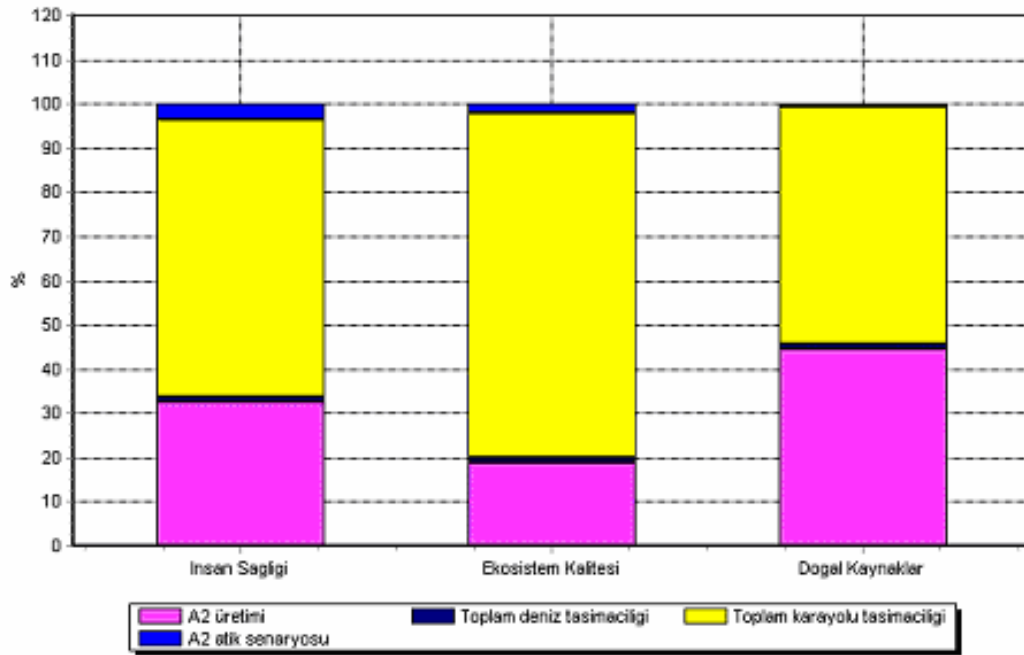
Sekil 7.2 (a)'nin sonucuna bagli olarak, Sekil 7.2 (b)'den de görüldüğü üzere insan sagligi, ekosistem kalitesi ve dogal kaynaklar üzerindeki en fazla etkiyi karayolu tasimaciligi olusturmaktadır.

A2'nin yasam asamalarinin karsilastirildigi Sekil 7.2 (c)'de ise, önceki sekillerde de açıkça görüldüğü üzere, en fazla etkiyi karayolu tasimaciliginin olusturdugu ve bunun da en fazla dogal kaynaklara ve insan sagligina zarar verdigi görülmektedir.



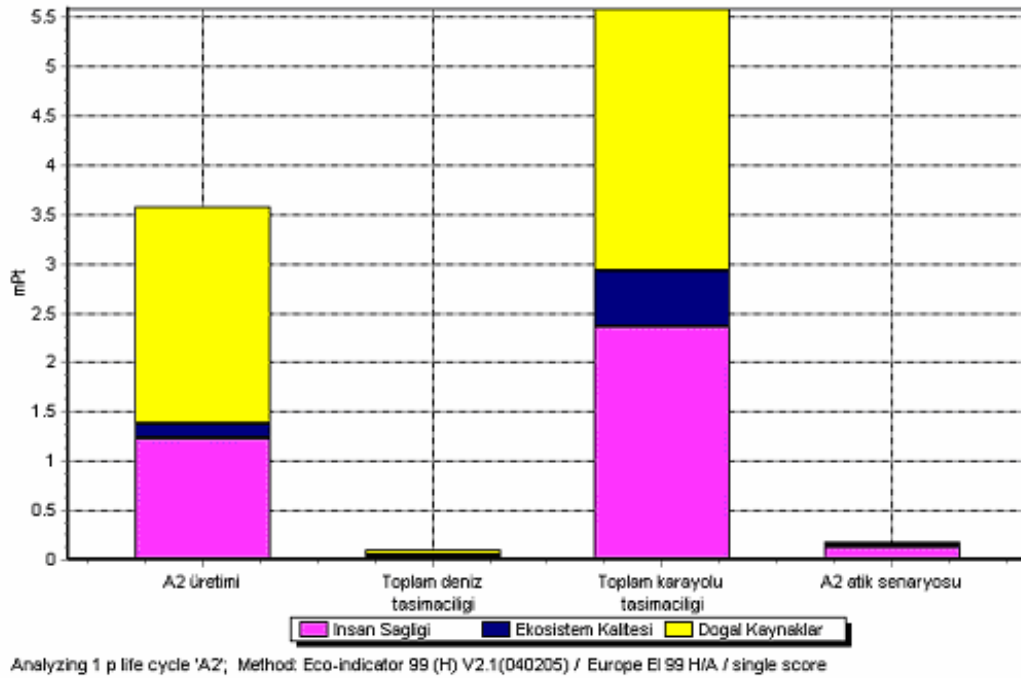
Analyzing 1 p life cycle 'A2'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.1(040205) / Europe EI 99 H/A / characterization

(a) Zarar sınıflarına göre



Analyzing 1 p life cycle 'A2'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.1(040205) / Europe EI 99 H/A / damage assessment

(b) Zarar değerlendirmesine göre



(c) Yasam döngüsü aşamalarına göre

Sekil 7.2. A2 (Bariyer katmanlı karton kutu)'nin LCA sonuçları

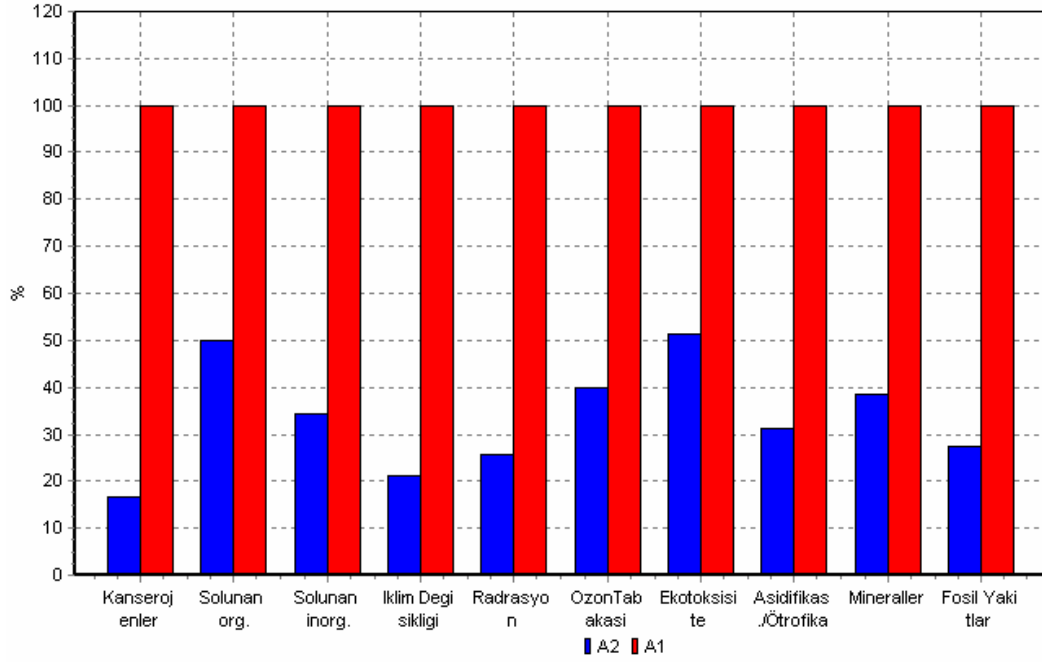
7.1.3. A1 ve A2'nin yaşam döngüsü analizlerinin karşılaştırılması

Sekil 7.3 (a)'da A1 ve A2'nin yaşam döngülerinin zarar sınıfları bazında bir karşılaştırılması verilmekte, bu sınıflar bazında en fazla etkiyi A1'in oluşturduğu görülmektedir.

Sekil 7.3 (a)'nin sonuçlarının birleşimi olan Sekil 7.3 (b)'de de insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynaklar bazında yapılan karşılaştırmada da yine A1'in en fazla etkiye sahip olduğu görülmektedir.

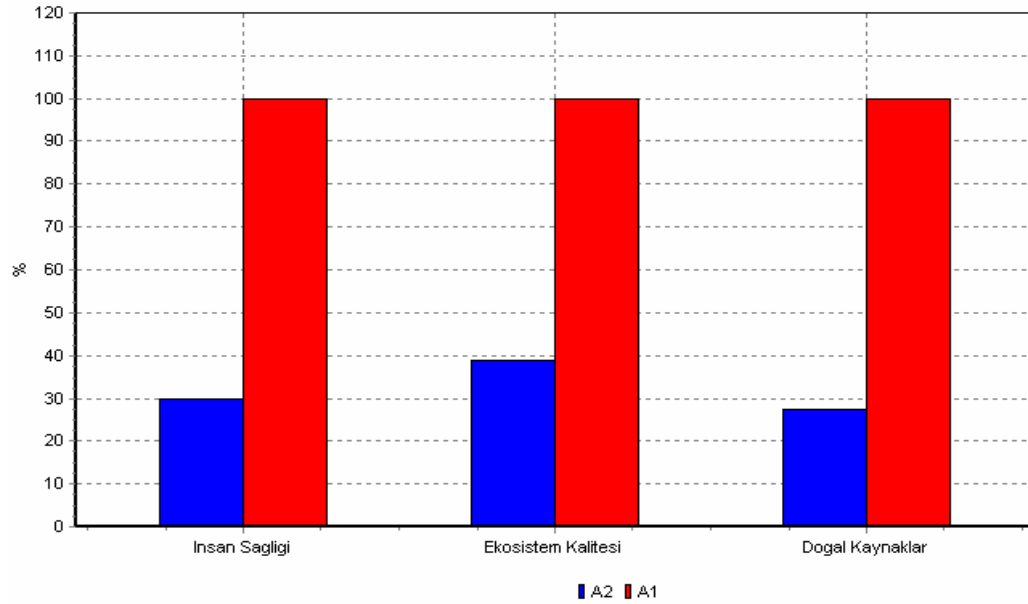
Sekil 7.3 (c) ise bar diyagramlarından farklı olarak üçgen şeklinde bir karşılaştırmayı göstermektedir. ISO 14042'ye göre; iki farklı ürünün halka açık olarak yapılan karşılaştırma işlemi, ambalajların kendi yaşam döngüsü aşamalarında yapıldığı gibi tek bir değer veren (mPt) bir grafik kullanılamaz. Bu ifadeye uygun olarak, kullanılan yazılımda, ikili ürün karşılaştırmaları için "karşılaştırma üçgeni" gibi bir alternatif bulunmaktadır. Bu üçgen, düşük çevresel etkiyi gösterdiğinden, üçgende kapladığı alan büyük olan ürün daha az çevresel etkiye sahip olarak ifade edilmektedir. Yazılımın kullanım kılavuzunda,

karsilastirma üçgeninin tek renk olması durumunda, zarar değerlendirilmesinde her üç etki kategorisinde de daha az çevresel etkiye sahip olan ürünü gösterdiği ifade edilmiştir. Bu açıklamaya göre, Şekil 7.3 (c) tamamen A2'yi temsil eden renkten oluşmakta, bu da A2'nin A1'e göre daha az çevresel yüke sahip olduğunu göstermektedir.



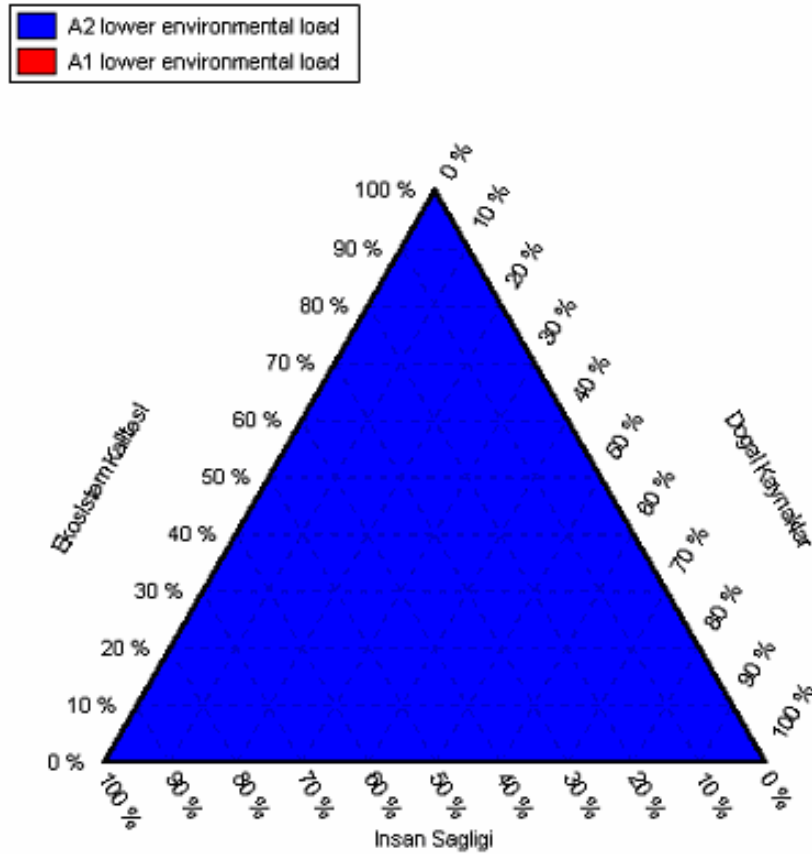
Comparing 1 p life cycle 'A2' with 1 p life cycle 'A1'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.1(040205) / Europe EI 99 H/A / characterization

(a) Zarar sınıflarına göre



Comparing 1 p life cycle 'A2' with 1 p life cycle 'A1'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.1(040205) / Europe EI 99 H/A / damage assessment

(b) Zarar değerlendirmesine göre



(c) Karsilastirma üçgenine göre

Sekil 7.3. A1 (Cam sise) ve A2 (Bariyer katmanli karton kutu)'nin LCA sonuçlarının karsilastirilmesi

7.2. Peynir Ambalajlarının LCA Sonuçları ve Sonuçların Değerlendirilmesi

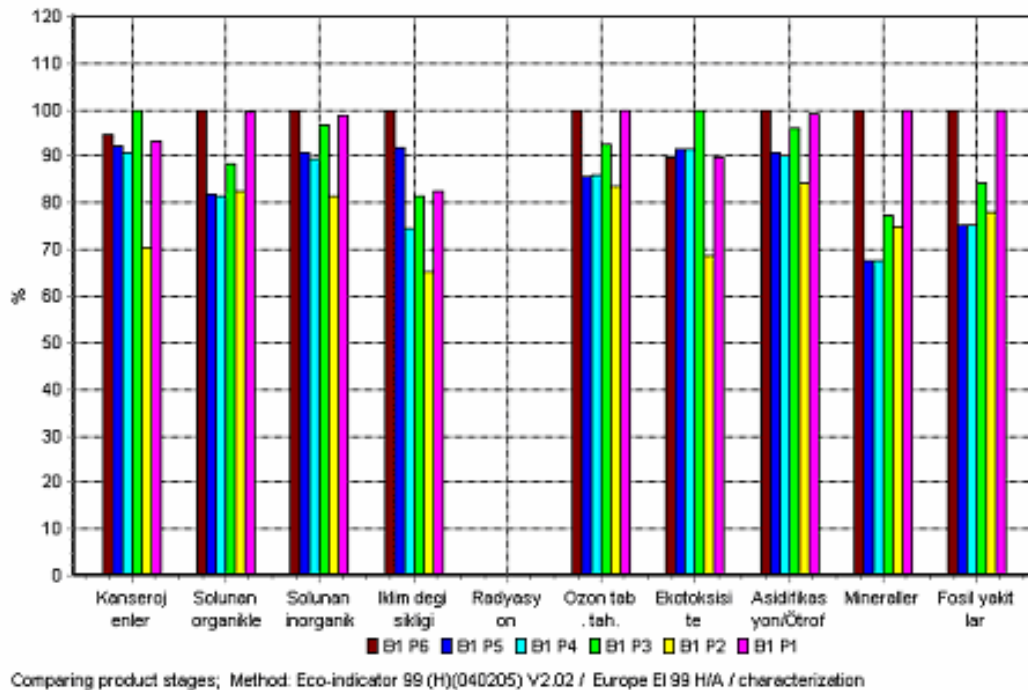
7.2.1. B1 (plastik kutu-plastik kapak PP)'in atık senaryoları açısından yaşam döngüsü analizi

B1'in yaşam döngüsü Çizelge 6.2'de verilen farklı oranlardaki atık senaryoları açısından kendi içerisinde karsilastirilmistir. Zarar siniflarına göre karsilastirmanin sonuçlarını veren Sekil 7.4 (a)'ya göre solunan organikler, solunan inorganikler, iklim degisikligi ve ozon tabakasının tahribati siniflarında en çok etkiyi B1 P6 (% 50 yakma, % 50 düzenli depolama) ve B1 P1 (% 100 düzenli depolama) senaryoları göstermektedir. Sekilden de görüldüğü üzere, kurulan senaryolarin hiç birisinde radyasyon etkisi söz konusu degildir.

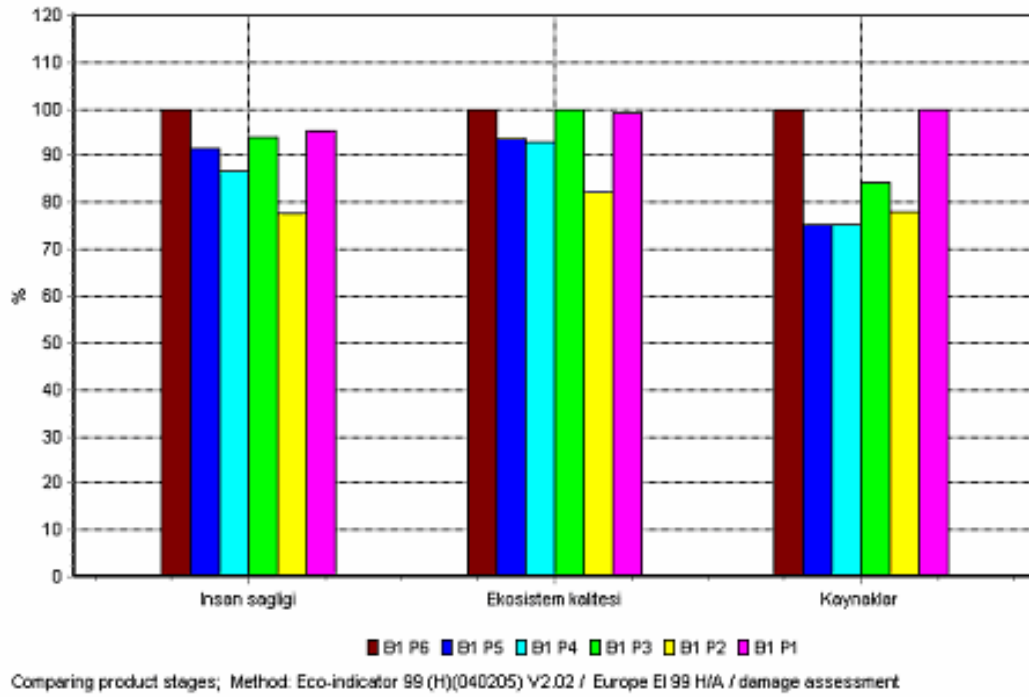
Sekil 7.4 (b)'ye bakıldığında, insan sağlığı açısından B1 P6 (% 50 düzenli depolama, % 50 yakma)'nin en fazla etkiyi gösterdiği, onu B1 P1 (% 100 düzenli depolama) ve B1 P3 (% 25 geri dönüşüm, % 75 düzenli depolama)'ün izlediği görülmektedir. Ekosistem kalitesi açısından da bu üç senaryo en fazla etkiye sahiptir. Kaynaklar açısından bakıldığında, yine B1 P6 (% 50 yakma, % 50 düzenli depolama,) ve B1 P1 (% 100 düzenli depolama)'in en fazla etkiye sahip oldukları görülmektedir.

B1 P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama), B1 P4 (% 10 yeniden kullanım, % 25 geri dönüşüm, % 65 düzenli depolama) ve B1 P5 (% 10 yeniden kullanım, % 25 geri dönüşüm, % 50 yakma, % 65 düzenli depolama) diğer senaryolara oranla daha az etkiye sahiptirler.

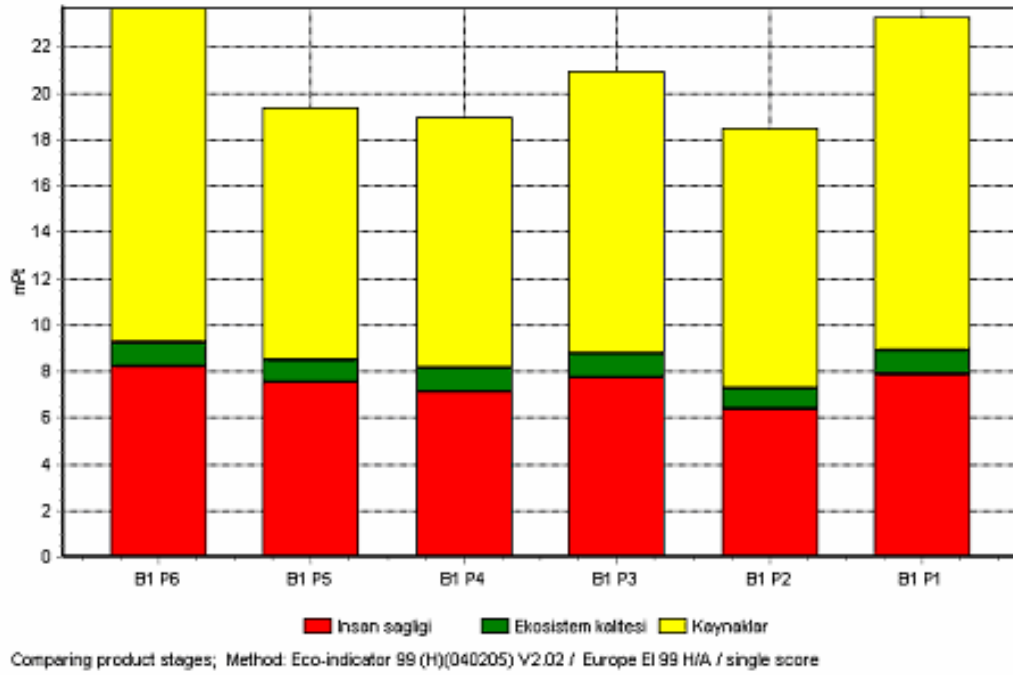
Atık senaryolarına göre değişen B1 yaşam döngüleri karşılaştırıldığında, Sekil 7.4 (c)'den de görüleceği gibi en fazla çevresel zarara B1 P6 senaryosu neden olurken, en az zarara ise B1 P2 senaryosu neden olmaktadır.



(a) Zarar sınıflarına göre



(b) Zarar değerlendirmesine göre



(c) Yasam döngüsüne göre

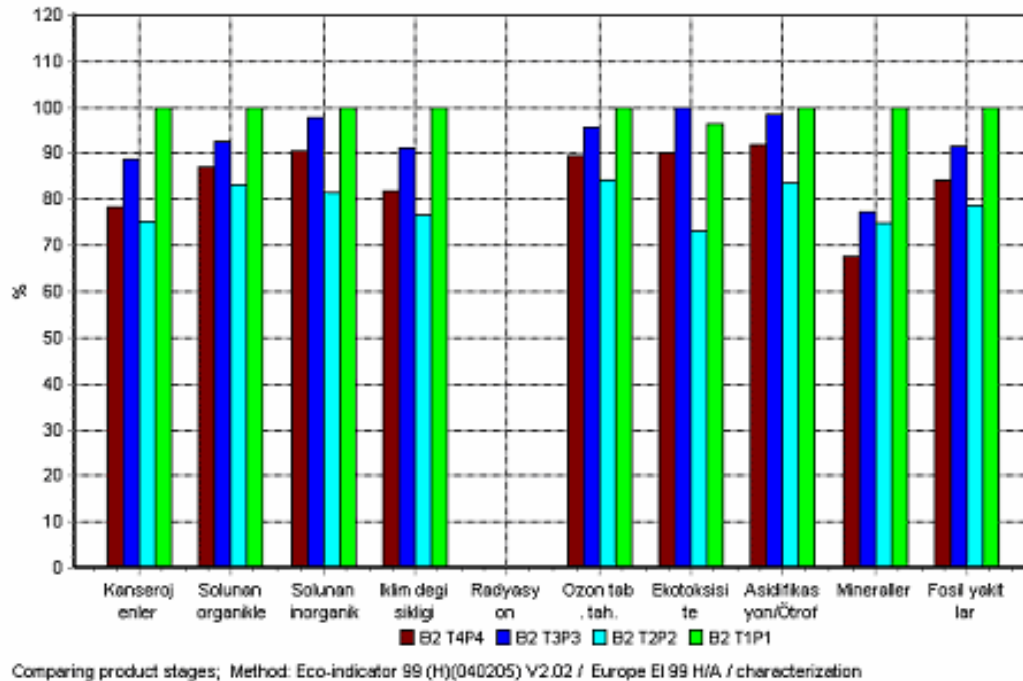
Sekil 7.4. B1 (Plastik kutu – plastik kapak PP) senaryolarinin LCA karsilastirmasi

7.2.2. B2 (teneke kutu – plastik kapak PE)’nin atık senaryolari açısından yaşam döngüsü analizi

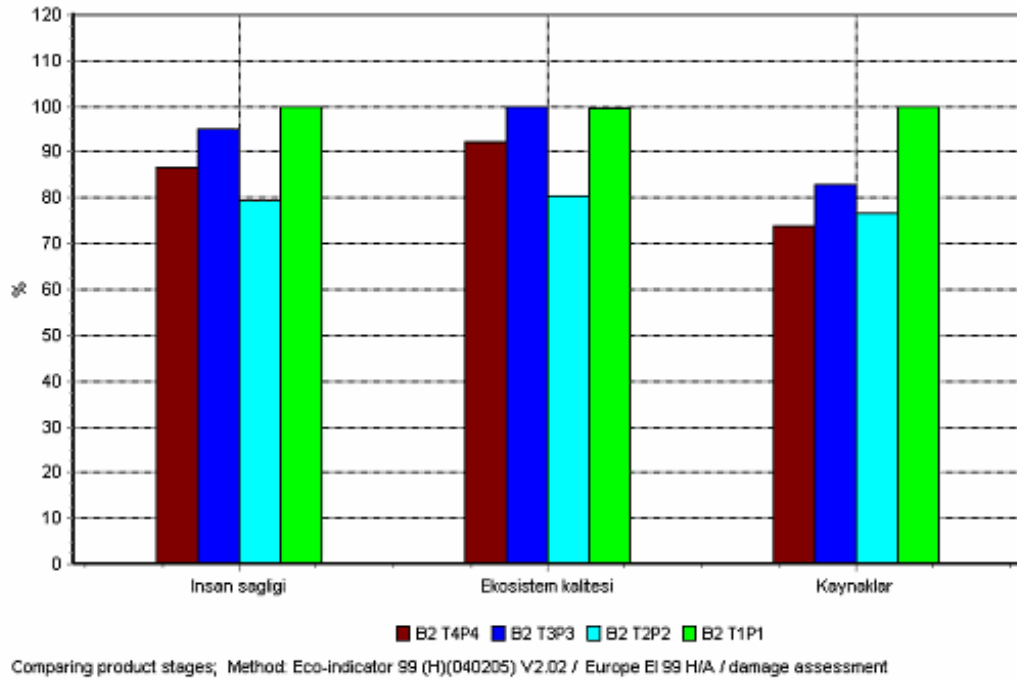
Sekil 7.5 (a)’ya göre en fazla çevresel etki B1 T1P1 (% 100 düzenli depolama) ve B2 T3P3 (%25 geri dönüşüm, % 75 düzenli depolama)’ten kaynaklanmakta bu etkilere B1 T4P4 (% 10 yeniden kullanım, % 25 geri dönüşüm, % 65 düzenli depolama) ve B1 T2P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama)’nin katkısı nispeten daha az görünmektedir.

Sekil 7.5 (b)’de ise B1 T1P1(% 100 düzenli depolama)’in tüm gruplarda en yüksek etkiye sahip olurken B1 T3P3 (%25 geri dönüşüm, % 75 düzenli depolama)’ün onu takip ettiği görülmektedir. İnsan sağlığı ve ekosistem kalitesinde en az etkiyi B2 T2P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama) gösterirken, kaynaklarda en az etkiyi ise B2 T4P4 (% 10 yeniden kullanım, % 25 geri dönüşüm, % 65 düzenli depolama) göstermektedir.

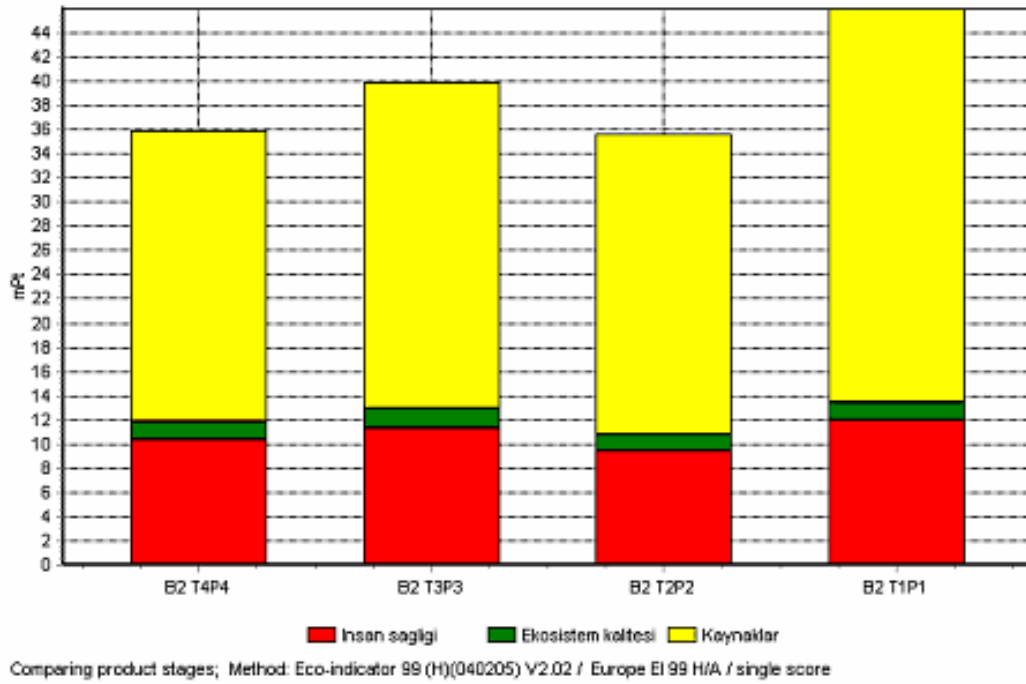
Atık senaryolari ile farklılaşan B2’nin yaşam döngülerinin karşılaştırıldığı grafiğe göre (Sekil 7.5 (c)), en fazla etkiye sahip olan yaşam döngüsü B1 T1P1 (% 100 düzenli depolama) olurken, en az etkiye sahip olan yaşam döngüsü ise B1 T2P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama) olmuştur.



(a) Zarar sınıflarına göre



(b) Zarar değerlendirmesine göre



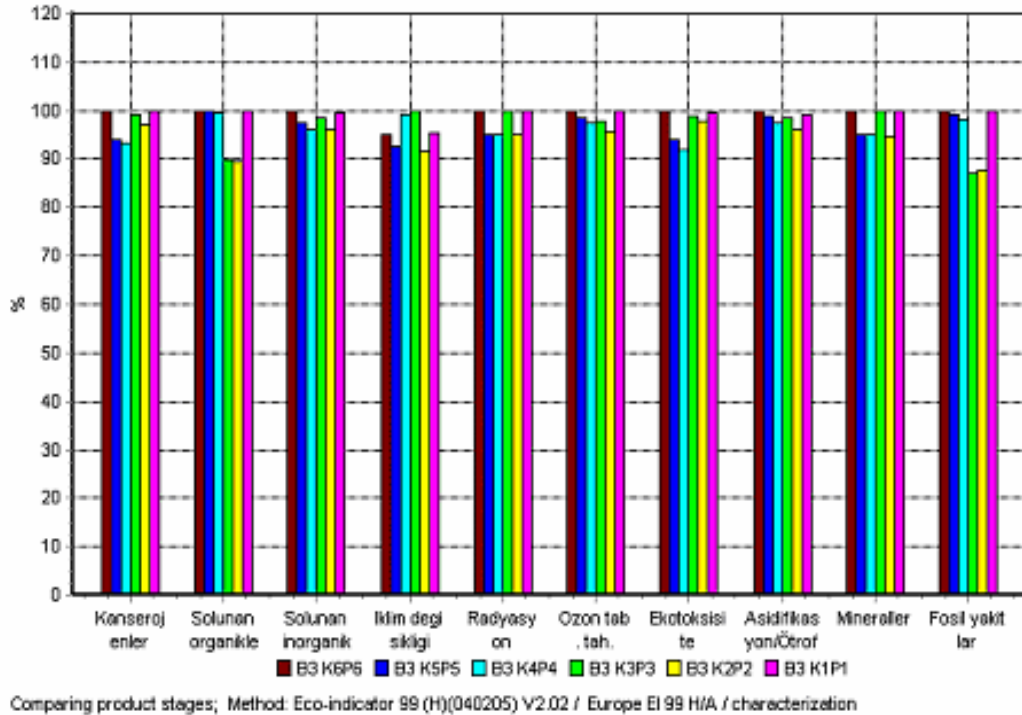
(c) Yasam döngüsüne göre

Sekil 7.5. B2 (Teneke – plastik kapak PE) senaryolarinin LCA karsilastirmasi

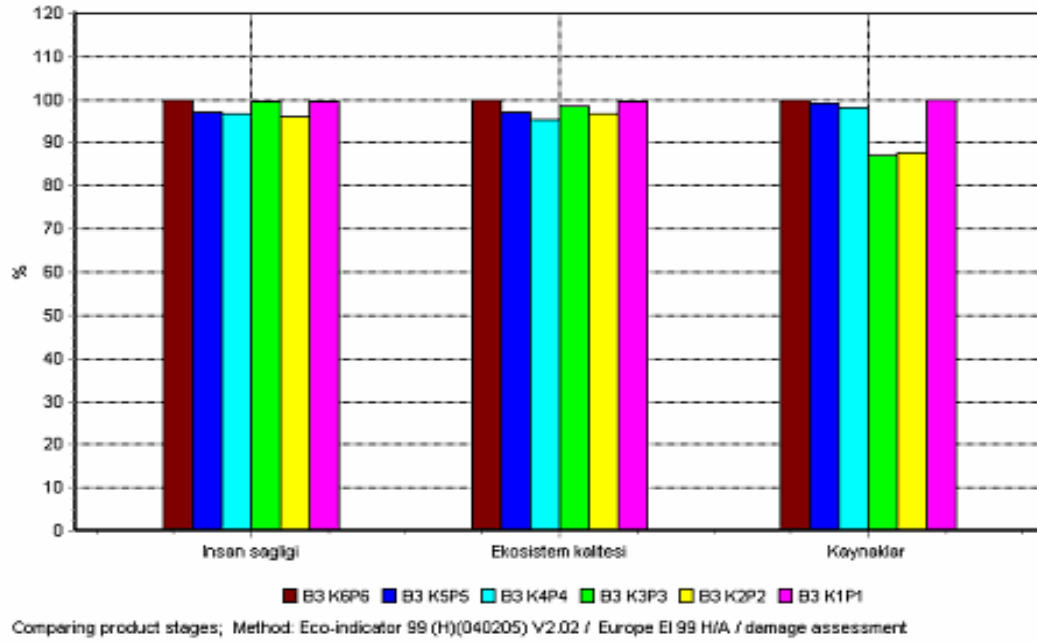
7.2.3. B3 (karton kutu – plastik iç poset PE/PA)’ün atık senaryoları açısından yaşam döngüsü analizi

B3’ün atık senaryolarına göre farklılaşan yaşam döngülerine bakıldığında, genelde aralarında çok fark olmadığı fakat, diğer türlerin aksine radyoaktivite etkisinin olduğu görülmektedir (Şekil 7.6 (a) ve (b)).

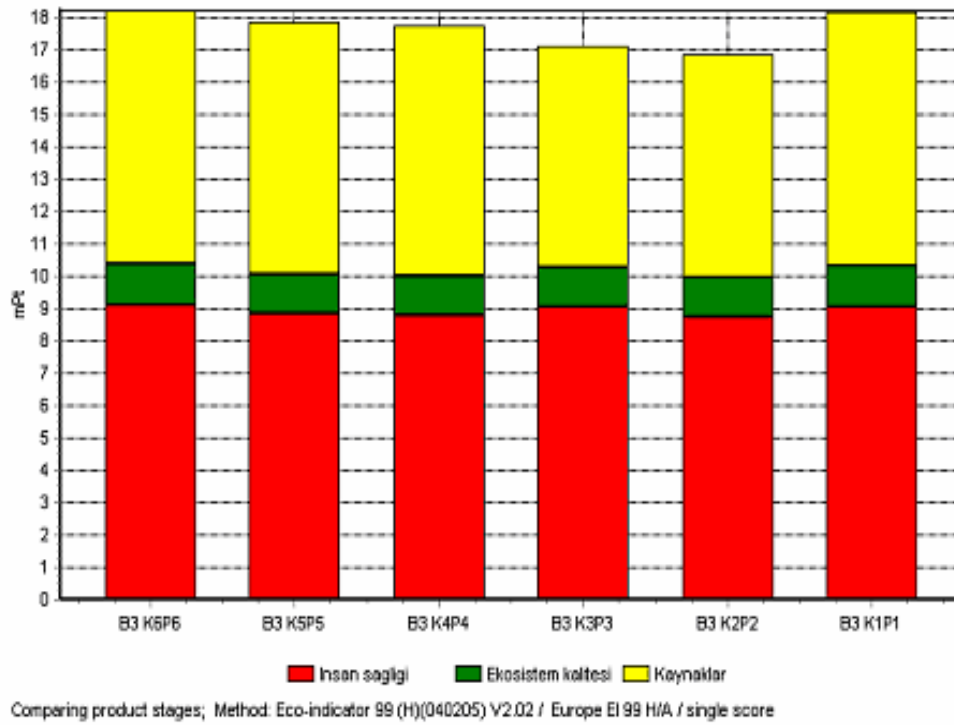
Diğer grafiklerde açıkça fark edilemeyen sonuç Şekil 7.6 (c)’de ortaya çıkmaktadır. Bu sonuca göre en fazla etkiyi B3 K1P1 (% 100 düzenli depolama) ve B3 K6P6 (karton, % 50 yakma, % 50 düzenli depolama; plastik, % 100 düzenli depolama) oluştururken, en az etkiyi B3 K2P2 (karton, % 5 yeniden kullanım, % 95 düzenli depolama; plastik, % 30 geri dönüşüm, % 70 düzenli depolama) düzenli depolama) oluşturmaktadır.



(a) Zarar sınıflarına göre



(b) Zarar değerlendirmesine göre



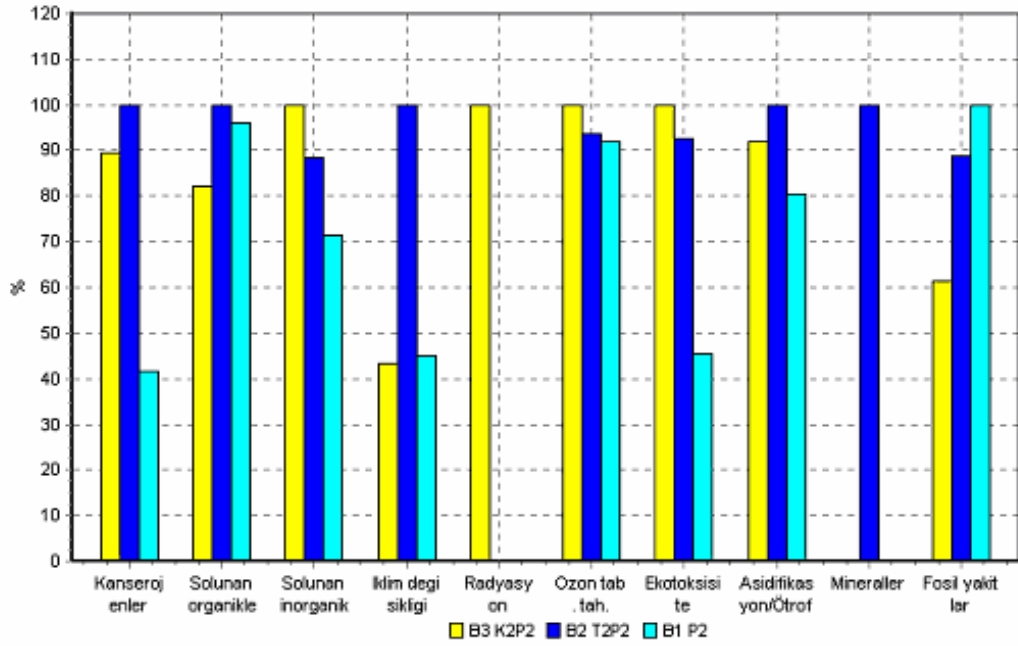
(c) Yaşam döngülerine göre

Sekil 7.6. B3 (Karton kutu – plastik i poset PE/PA) senaryolarinin LCA karsilastirmasi

7.2.4. En iyi atik senaryolu üç ambalaj türünün karşılaştırılması

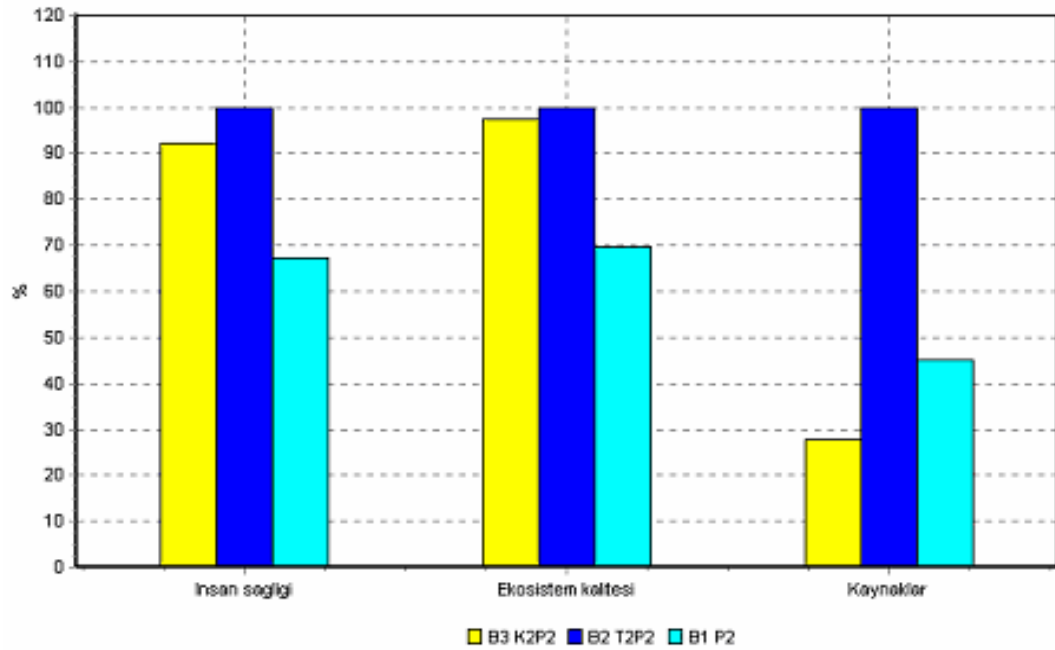
Ambalaj türlerinin kendi içlerinde atik senaryolarına göre farklılaşan yaşam döngüsü karşılaştırmalarından en az etkiyi B1 (plastik kutu-plastik kapak PP) için P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama) senaryosunun, B2 (teneke kutu-plastik kapak PE) için T2P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama) senaryosunun ve B3 (karton kutu-plastik iç poset PE/PA) için K2P2 (karton, % 5 yeniden kullanım, % 95 düzenli depolama; plastik, % 30 geri dönüşüm, % 70 düzenli depolama) senaryosunun oluşturduğu görülmüştür. B1 P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama), B2 T2P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama) ve B3 K2P2 (karton, % 5 yeniden kullanım, % 95 düzenli depolama; plastik, % 30 geri dönüşüm, % 70 düzenli depolama)'nin karşılaştırılmasında ise Şekil 7.7 (a)'da görüleceği gibi kanserojenler, solunan inorganikler, iklim değişikliği, asidifikasyon ve mineraller açısından en fazla etkiyi B2 T2P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama) göstermektedir. Solunan organikler, radyasyon, ozon tabakasının tahribati ve ekotoksitesite açısından ise en fazla etkiyi B3 K2P2 (karton, % 5 yeniden kullanım, % 95 düzenli depolama; plastik, % 30 geri dönüşüm, % 70 düzenli depolama) gösterirken, fosil yakıtlar açısından en fazla etkiyi B1 P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama) göstermiştir.

Şekil 7.7 (b)'de ise insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynaklar açısından en fazla etkiyi B2 T2P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama)'nin gösterdiği görülmektedir. Bu durumda üçüncü aşamada karşılaştırılacak olan ambalaj türleri B3 K2P2 (karton, % 5 yeniden kullanım, % 95 düzenli depolama; plastik, % 30 geri dönüşüm, % 70 düzenli depolama) ve B1 P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama) olacaktır.



Comparing 1 p life cycle 'B3 K2P2' with 1 p life cycle 'B2 T2P2' and with 1 p life cycle 'B1 P2'; Method: Eco-indicator 99 (H)(040205) V2.

(a) Zarar sınıflarına göre



Comparing 1 p life cycle 'B3 K2P2' with 1 p life cycle 'B2 T2P2' and with 1 p life cycle 'B1 P2'; Method: Eco-indicator 99 (H)(040205) V2.

(b) Zarar değerlendirmesine göre

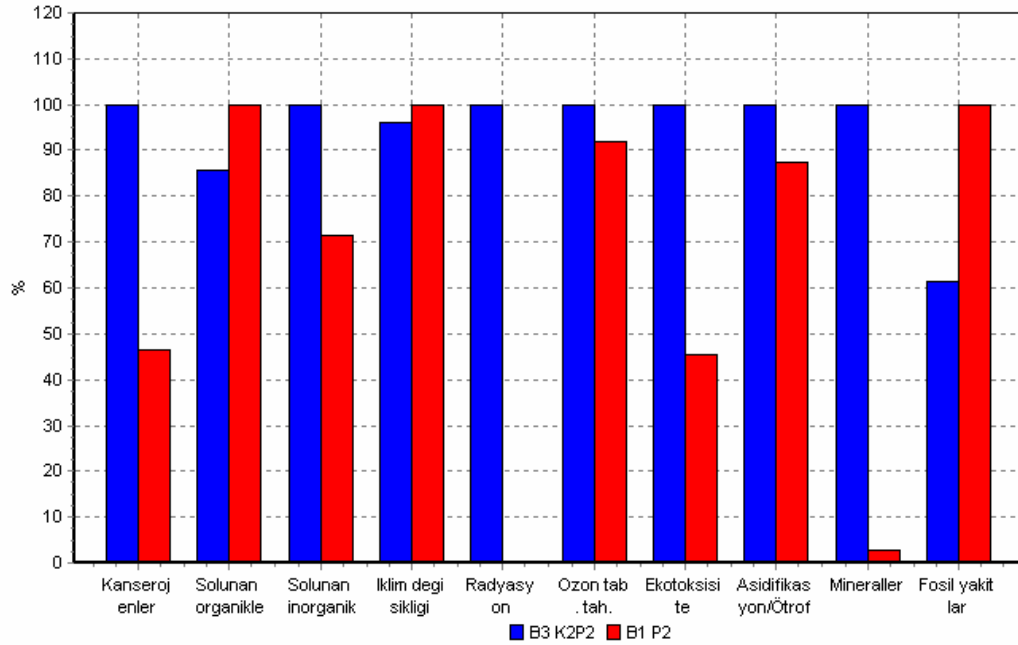
Sekil 7.7. B1, B2 ve B3'ün en iyi senaryolarının LCA karşılaştırması

7.2.5. En iyi atık senaryolu iki ambalaj türünün karşılaştırılması

B3 K2P2 (karton, % 5 yeniden kullanım, % 95 düzenli depolama; plastik, % 30 geri dönüşüm, % 70 düzenli depolama) ve B1 P2 (% 25 yeniden kullanım, % 75 düzenli depolama)'nin zarar etkilerine göre karşılaştırıldığı Şekil 7.8 (a)'ya göre kanserojenler, solunan organikler, iklim değişikliği, radyasyon, ozon tabakasının tahribi, ekotoksisite, asidifikasyon/ötrofikasyon ve mineraller açısından en fazla etkiye sahip olan ambalaj türü B3 K2P2'dir.

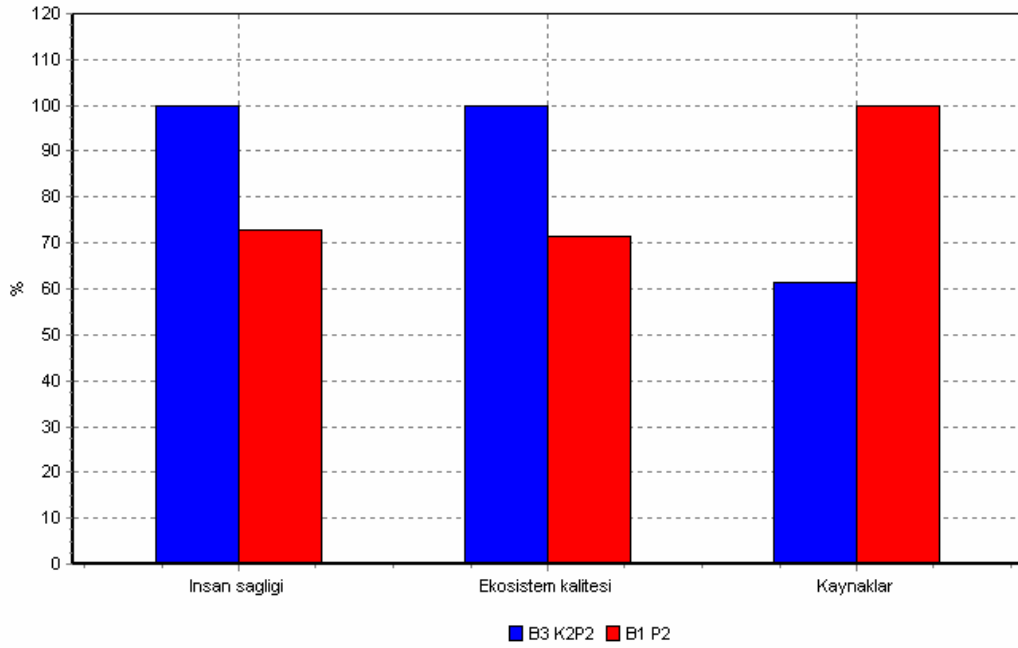
Şekil 7.8 (b)'ye bakıldığında ise, insan sağlığı ve ekosistem kalitesi açısından B3 K2P2 (karton, % 5 yeniden kullanım, % 95 düzenli depolama; plastik, % 30 geri dönüşüm, % 70 düzenli depolama)'nin, kaynaklar açısından ise B1 P2'nin en fazla etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Karşılaştırma üçgeninin kullanıldığı Şekil 7.8 (c)'den ise B3 K2P2 senaryosunun diğer senaryoya göre daha az çevresel etkiye neden olduğu belirlenmiştir. Yani, söz konusu senaryo geçerli olmak kaydıyla, peynir ambalajlamasında karton kutu (iç poseti plastik) kullanımının LCA yaklaşımı açısından daha uygun olduğu ortaya çıkmıştır.



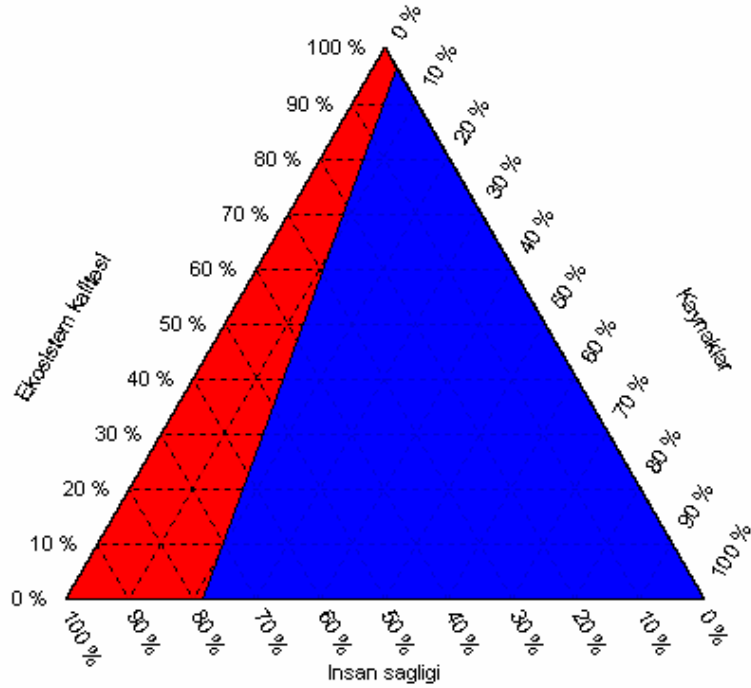
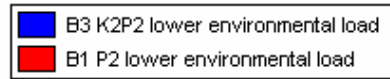
Comparing 1 p life cycle 'B3 K2P2' with 1 p life cycle 'B1 P2'; Method: Eco-indicator 99 (H)(040205) V2.02 / Europe EI 99 H/A / character

(a) Zarar sınıflarına göre



Comparing 1 p life cycle 'B3 K2P2' with 1 p life cycle 'B1 P2'; Method: Eco-indicator 99 (H)(040205) V2.02 / Europe EI 99 H/A / damage

(c) Zarar degerlendirmesine göre



(d) Karsilastirma üçgenine göre

Sekil 7.8. En iyi iki senaryonun (B3 K2P2 ve B1 P2) LCA karsilastirmasi

8. SONUÇ, TARTISMA VE ÖNERILER

Ülkemiz için oldukça yeni bir teknik olan LCA sistematiginin ilk uygulaması olan bu Yüksek Lisans Tezinde, Çevre Mühendisliği disiplini açısından oldukça önemli bulgular elde edilmiştir. Bu bulgular;

- Meyve suyu ambalajlamasında kullanılan cam sise, yaygın kanaatin aksine, bariyer katmanlı karton kutuya göre daha fazla çevresel etkiye sebep olmaktadır.
- Peynir ambalajlarında karton ambalaj için en iyi atık senaryosu düzenli depolama yöntemi olurken, plastik ambalaj için geri dönüşüm ve düzenli depolama seçenekleri olmuştur. Çevresel etkilere verilen ağırlıklandırmaya bağlı olarak yapılan değerlendirmeye göre ise genel olarak en az çevresel etkiye karton kutu ve plastik içi posetten oluşan ambalaj neden olmaktadır.
- Ambalaj atıklarının bertarafında, yeniden kullanım ile geri dönüşüm oranları artırılmalı ve enerji geri kazanımsız yakma kesinlikle tercih edilmemelidir. Enerji geri kazanımlı yakmanın tercih edilebilirliği ise Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri (MCDM) yardımıyla yapılacak detaylı bir fayda maliyet analizini gerektirmektedir.

Ayrıca, sürdürülebilirlik kavramının en somut şekilde ortaya konulduğu LCA tekniğinde, sadece atıkların ortaya çıkmasından sonraki aşamaları ele almanın ciddi hatalara neden olabileceği de (meyve suyu ambalajlamasında cam sise örneğinde olduğu gibi) ispatlanmıştır.

Çalışma, ambalaj üreticilerine, tüketicilere, ve de karar verici mercilere yardımcı olacak veri ve bulguları içermekte ve örnek uygulamalar da bunu desteklemektedir.

Gerek uygulanan teknik, gerekse kullanılan yazılım açısından ilk kez gerçekleştirilen bu çalışmada en önemli sorun sağlıklı verilere ulaşmada yaşanmıştır. O nedenle tamamlayıcı olması açısından duyarlılık analizleri, ekonomik analizler ve Monte Carlo belirsizlik analizinin yapılması planlanmasına rağmen simülasyon gerçekleştirilememiştir.

KAYNAKLAR

- ANONIM-1, Kati Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 20814, Türkiye (1991).
- ANONIM-2, Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 25538, Türkiye (2004).
- ANONIM-3, Ambalaj Bülteni, *Ambalaj Hakkında Ne Biliyorsunuz?*, Ambalaj Sanayicileri Derneği Yayını, ISSN 1303-1964, 3, 56-63 (2004).
- ANONIM-4, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 14041: *Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Amaç ve Kapsam Tanımı ile Envanter Analizi*, Ankara, Türkiye (2003a).
- ANONIM-5, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 14042: *Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Etki Değerlendirmesi*, Ankara, Türkiye (2003b).
- ANONIM-6, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 14043: *Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Yorumu*, Ankara, Türkiye (2003c).
- APRILI, P.G., BERGONZONI, M., BUTTOL, B., CECCHINI, F. ve NERI, P., *Life cycle assessment of a municipal solid waste landfill*, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 4-8 October (1999).
- AYALON, O., AVNIMELECH, Y. ve STECHTER, M., *Application of a comparative multidimensional life cycle analysis in solid waste management policy: the case of soft drink containers*, Environmental Science & Policy, **3**, 135-144 (2000).
- BANAR, M., *Kati Atık Yönetimi Ders Notları*, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü (2005).
- BARNABE, F., *Life cycle analysis : first stage in the development of new -eco-tools for air conditioning systems designers* , ICR0499 (1999).
- BISHOP, P.L., Pollution Prevention, Mc Graw Hill, Singapore (2000).
- CAMOBRECO, V., HAM, R., BARLAZ, M., REPA, E., FEKLER, M., ROUSSEAU, C. ve RATHLE, J., *Life-cycle inventory of a modern municipal solid waste landfill*, Waste Manage Res., **17**, 394-408 (1999).

ÇEVKO ile sözlü görüşme

DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (Danish EPA), *Manual on Product-Oriented Environmental Work*, Environmental News, **64**, Denmark (2002).

EUROPEN ENVIRONMENT AGENCY, *Life Cycle Assessment (LCA) A guide to approaches, experiences and information sources*, Environmental Issues Series, **6**, United Kingdom (1997).

FINNVEDEN, G. ve EKVALL, T., *Life-cycle assessment as a decision-support tool ? the case of recycling versus incineration of paper*, Resources, Conservation and Recycling, **24**, 235-256 (1998).

GERTSAKIS, J. ve LEWIS, H., *Sustainability and the Waste Management Hierarchy*, Discussion Paper, Victoria, Australia (2003).

GÜLER, G., *Yasam Döngüsü Degerlendirmesi ve Çevre Mühendisligi Açısından Uygulama Alanlari*, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlik Fakültesi, Çevre Mühendisligi Bölümü, Eskisehir, Türkiye (2004).

GÜNAY, V. ve ERBER, D., *Türkiye’de Ambalaj Sanayi ve Pazarı*, III. Uluslararası Ambalaj Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Yayinlari, Izmir, Türkiye, 5-19 (2003).

http-1: 18.2.2004 tarihli Avrupa Birliği Resmi Gazetesi L 47/26,

http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2004/l_047/l_04720040218en00260031.pdf

http-2: Indicators of Sustainable Development,

<http://www.sustainable-development.gov.uk/indicators/national/index.htm>

http-3: http://www.petcore.org/euro_naleg_02.html#luxembourg

http-4: http://www.petcore.org/euro_naleg_01.html#greece

http-5: http://www.petcore.org/euro_naleg_01.html#czechrepublic

http-6: United Nations Divison for Sustainable Development National Information- Estonia, <http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/estonia/>

http-7:

http://www.johannesburgsummit.org/html/prep_process/national_reports/cyprusreport.pdf

http-8: http://www.vidm.gov.lv/vide/LIK/iepak/Eiepak_lik.htm

- http-9: <http://waste.eionet.eu.int/wastebase/prevention>
- http-10: http://www.petcore.org/euro_naleg_01.html#hungary
- http-11: <http://www.doi.gov.mt/en/legalnotices/2004/04/LN165.pdf>
- http-12: http://www.mos.gov.pl/odpady/1/national_waste_management_plan/appendix1.pdf
- http-13: http://www.fifoost.org/slowakei/EU_SLovakia_2002/node57.php
- http-14: <http://www.sigov.si/mop/en>
- http-15: *Packaging and the Environment*, http://packforsk.se/PDF-files/facts_eng.pdf
- http-16: APME Plastics in Packaging, www.apme.org/media/public_documents/20010917_124553/Packaging_01d.pdf
- http-17: Ambalaj, <http://www.matbaaturk.org/web/ambalaj.pdf>
- http-18: <http://www.cigdemmatbaa.com/sozluk.asp>
- http-19: Gıda Sanayisinde Teneke Ambalajın Kullanımı, <http://www.tasiad.net/bilgibankasi/bilgibankasi.php?id=5>
- http-20: <http://www.tse.gov.tr>
- http-21: <http://www.kgm.gov.tr/ill.asp>
- HUANG, C. ve MA, H., *A multidimensional environmental evaluation of packaging materials*, *Science of the Total Environment*, **324**, 161-172 (2004).
- JAMES, K.L., *Environmental Life Cycle Cost in the Australian Food Packaging Supply Chain*, Doctoral Thesis, Victoria University, Faculty of Business and Law, Victoria, Australia (2003).
- MENDES, M.R., ARAMAKI, T. ve HANAKI, K., Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling in São Paulo City as determined by LCA, *Resources, Conservation and Recycling*, **41**, 47-63 (2004).
- NEMLI, E., *Sürdürülebilirlikte İşletmelerin Rolü*, *Çevre ve Mühendis*, **25**, 35-38 (2003).
- QUINTAVALLA, A., MELLONI, R., NERI, P. ve BERGONZONI, M., *Optimization of the integrated system for the differentiated collection of plastics, evaluated through a LCA analysis*, ISWA World Environment Congress and Exhibition, October 14-21, Roma (2004).

ROSS, S. ve EVANS, D., *The environmental effect of reusing and recycling a plastic-based packaging system*, , Journal of Cleaner Production, **11**, 561-571 (2003).

SAVASÇI, T., UYANIK, N. ve AKOVALI, G., *Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi*, PAGEV Yayınları, İstanbul (2002).

SCHWARZ, N., *Re-use and recycling of household appliances*, Austrian Research Centers, A2444 Seibersdorf, Austria, R'99 Congress (Recovery, Recycling, Re-integration) (1999).

SONG, H.S. ve HYUN, J.C., *A study on the comparison of the various waste management scenarios for PET bottles using the life-cycle assessment (LCA) methodology*, Resources, Conservation and Recycling, **27**, 267-284 (1999).

SONNEMAN, G., CASTELLS, F., SCHUHMACHER, M., *Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes*, Lewis Publishers, Boca Raton, USA (2004).

TOKATLI, K. ve HOCALAR, M., *Gıdalar niçin ambalajlanmalı?*, III. Uluslararası Ambalaj Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı Cilt I (Ed: GÜL, S. ve GÜL, M.), TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Yayınları, İzmir, Türkiye (2003).

ÜÇÜNCÜ, M., *Gıdaların Ambalajlanması*, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, Türkiye (2000).

YOSHIDA, T., FUKUMOTO, C. ve OTSUKA, Y., *Waste-management lca on recycling system of household appliances*, R'99 Congress (Recovery, Recycling, Re-integration) (1999).

ZABANIOTOU, A. ve KASSIDI, Z., *Life cycle assessment applied to egg packaging made from polystyrene and recycled paper*, Journal of Cleaner Production, **11**, 549-559 (2003).

EK-1 2004/12/EC no'lu Avrupa Birliği Amabalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi'nde Yer Alan Genel Ambalajlar Disında Ambalaj Sayılan ve Sayılmayan Malzemelere Örnekler (http-1)

Kriter (i) için tanımlayıcı örnekler

Ambalaj sayılanlar

Çiklet kutuları

CD kutularının etrafını saran filmler

Ambalaj sayılmayanlar

Bitkiyle, bitkinin ömrü boyunca kalacak olan saksılar

Alet kutusu

Poset çaylar

Peynirlerin etrafındaki vaks tabakası

Sosisi saran ince filmler

Kriter (ii) için tanımlayıcı örnekler

Ambalaj: Satis sirasında doldurulacak sekilde tasarlanmış ve uygulanmakta olan

Kagit veya plastik alisveris torbalari

Kullan-at tabak ve bardaklar

Jelatin film

Sandviç torbalari

Alüminyum folyo

Ambalaj sayılmayan

Kasik (stirrer) ve kullan-at çatal-kasik-biçak

Kriter (iii) için tanımlayıcı örnekler

Ambalaj

Bir ürüne asili veya tutturulmuş olan etiketler

Ambalajın bir parçası

Kutu kapaginin bir parçası olarak maskara fırçaları

Ambalajın üzerindeki yapışkan etiketler

Zimba teli

Plastik CD kilifleri ve deterjan kutularının bir parçası olarak dozajı ölçen kısım

**EK-2 “Atık Yönetimi Planlamasında Yasam Döngüsü Analizi”
Baslikli Anadolu Üniversitesi Bilimsel Arastirma Fonu Projesi
Veri Toplama ve Değerlendirme Formu**

Firma adi:
Üretim alanı:
Tel:
Fax:
Adres:
Web adres:
Formu dolduran yetkilinin Adı-Soyadı:
Görevi:
E- mail adresi:

1. Ürünün adı ve standart üretim miktarı:

[Örn: HDPE sise, 25 gr/500mL]

2. Üretiminizin akim diyagramini, hammaddenin gelisinden, ürünün etiketlenmesine ve dolumcu firmaya gönderilmesine kadar basamaklar halinde yazar misiniz?

Örn:

- 1.HDPE reçinenin tesise gelisi
2. HDPE reçinenin eritilmesi
3. Erimis HDPE'nin kaliba dökülmesi ve havayla sisirilmesi
4. HDPE sisenin ambalajlanması

3. Birim ürün başına kullanılan hammadde türleri (su dahil), miktarları, kullanıldığı üretim aşaması:

Örn:

1. 1.0003 kg HDPE reçine / 1 kg HDPE sise (HDPE sise üretimi)
2. 3 kg su / 1 kg HDPE sise (HDPE sise üretimi)
3. 0.0300 kg LDPE film / 1 kg HDPE sise (HDPE sise ambalajı)
4. 0.0960 kg karton / 1 kg HDPE sise (HDPE sise ambalajı)

4. Ürün basına kullanılan enerji türü, miktarını ve kullanıldığı üretim aşamasını belirtiniz.

Örn:

1. 6.1541 MJ Elektrik enerjisi / 1 kg HDPE sise (HDPE sise üretimi)
2. 0.0021 MJ dizel yakıt / 1 kg HDPE sise (HDPE sise üretimi)
- 3.
- 4.

5. Hammaddelerin tedarik edilme şeklini, araç kapasitesini ve mesafeyi belirtiniz.

Örn:

1. HDPE reçine, 28 ton'luk kamyonla, 28 ton/sefer, 100 Km
2. Elektrik ,TEDAS
3. Dizel yakıt, petrol firmasından 5 ton'luk tankerle, 20 Km
4. Su, kuyu suyu
5. LDPE film,
6. Karton.....
- 7.

6. Üretim aşamasında açığa çıkan iskarta ürün var mı? Varsa günlük üretim basına açığa çıkan miktarı ve değerlendirilme şeklini aşağıda belirtiniz.

7. Diğer firmalara gönderilen yan ürünler ya da atıklar var mı? Varsa aşağıda belirtiniz.

8. Üretimden kaynaklanan kati atık bilgileriniz var mi? Varsa günlük üretim basına asagida belirtiniz.

9. Üretimden kaynaklanan hava kirletici bilgileriniz var mi? Varsa günlük üretim basına asagida belirtiniz.

10. Üretimden kaynaklanan atıksu bilgileriniz var mi? Varsa asagida günlük üretim basına belirtiniz.

Notlar:

Gösterdiginiz ilgi ve ayirdiginiz zaman için tesekkür ederiz. Verilerinizin tamamen bilimsel amaçli kullanilacagindan ve gizli tutulacagindan emin olunuz.

İletisim için: Y. Doç. Dr. Müfide Banar

Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Çevre Mühendisliği Bölümü

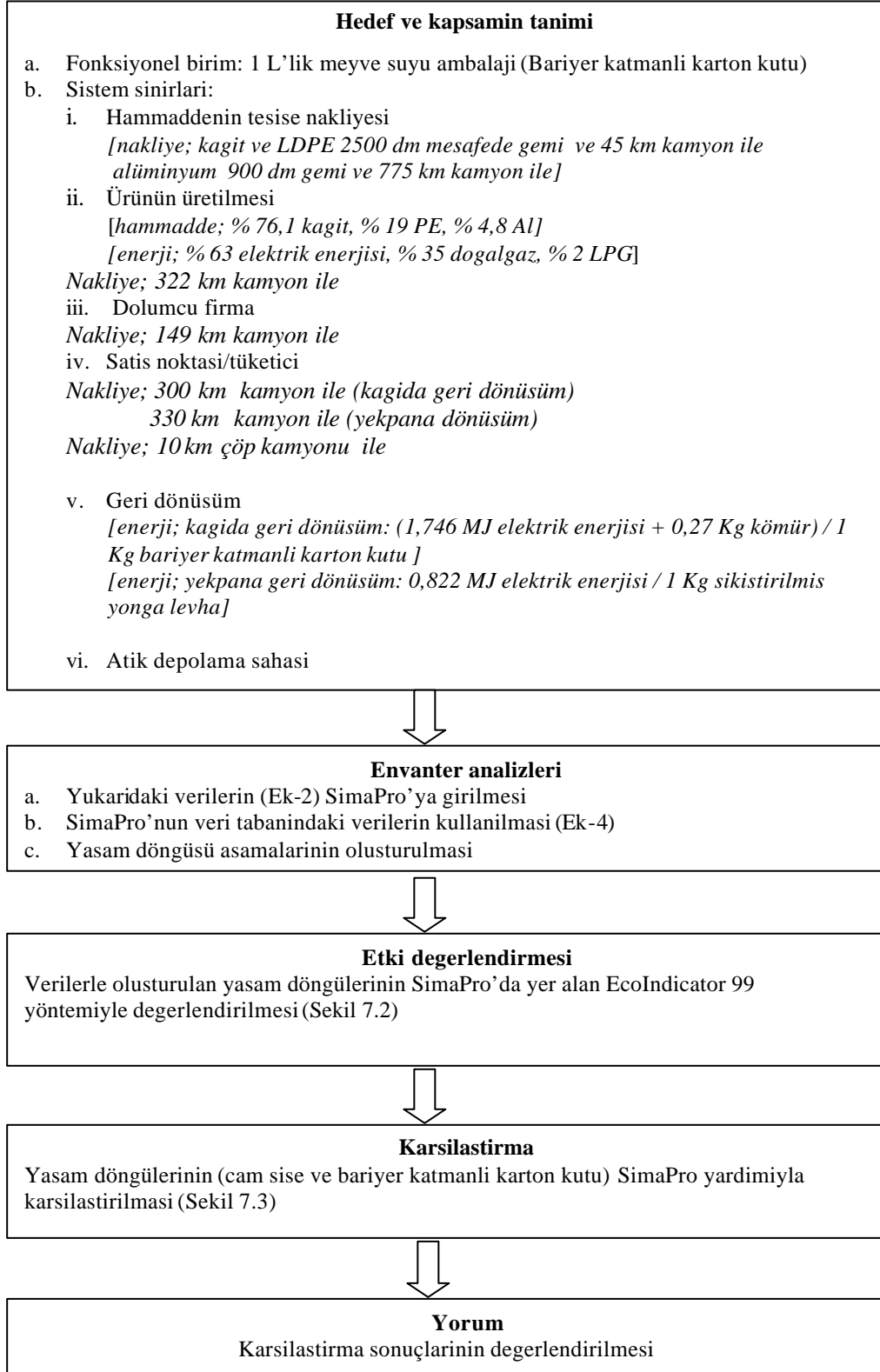
İki Eylül Kampüsü 26470 Eskisehir

Tel: 0 222 321 35 50 / 6400

Fax: 0 222 323 95 01

E-mail: mbanar@anadolu.edu.tr

EK-3 Toplam Kütle Denkliği Seklinde Sistemin İşleyiş Mekanizması



EK-4 Meyve Suyu Ambalajlamasi LCA Veri Tabani (SimaPro 6.0.4)

Çizelge Ek 4.1. Sekil 7.3 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (insan sagligi)

Code No	Substance	Compartment	Unit	A1	A2
	Total of all compartments		DALY	0.000000608	0.000000144
71	Acetaldehyde	Air	DALY	2.83E-14	4.73E-15
72	Acetic acid	Air	DALY	2.02E-14	2.85E-15
73	Acetone	Air	DALY	3.65E-15	6.15E-16
74	Acrolein	Air	DALY	1.87E-16	4.56E-17
75	Aldehydes, unspecified	Air	DALY	5.2E-16	2.83E-16
78	Ammonia	Air	DALY	4.11E-10	3.62E-11
83	Arsenic	Air	DALY	1.93E-09	4.54E-10
86	Benzaldehyde	Air	DALY	5.28E-17	1.29E-17
87	Benzene	Air	DALY	8.8E-12	1.61E-12
88	Benzene, ethyl-	Air	DALY	2.46E-13	5.65E-14
89	Benzene, hexachloro-	Air	DALY	1.59E-14	3.72E-15
90	Benzene, pentachloro-	Air	DALY	1.08E-18	2.53E-19
91	Benzo(a)pyrene	Air	DALY	3.76E-12	7.16E-13
95	Butane	Air	DALY	8.01E-12	1.85E-12
96	Butene	Air	DALY	2.77E-12	6.7E-13
97	Cadmium	Air	DALY	1.77E-09	5.13E-10
99	Carbon-14	Air	DALY	6.09E-11	1.18E-11
100	Carbon dioxide	Air	DALY	0.000000122	2.12E-08
101	Carbon monoxide	Air	DALY	3.56E-10	9.11E-11
104	Cesium-134	Air	DALY	1.63E-15	3.18E-16

Çizelge Ek 4.1. (devam) Sekil 7.3 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler

105	Cesium-137	Air	DALY	3.42E-15	6.64E-16
107	Chloroform	Air	DALY	1E-15	1.88E-16
112	Cobalt-58	Air	DALY	2.33E-18	4.54E-19
113	Cobalt-60	Air	DALY	1.3E-16	2.52E-17
119	Dinitrogen monoxide	Air	DALY	1.97E-09	4.63E-10
120	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	Air	DALY	4E-12	1.56E-12
121	Ethane	Air	DALY	7.57E-13	1.02E-13
122	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	DALY	1.2E-11	2.33E-12
124	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	DALY	1.2E-11	2.91E-12
125	Ethanol	Air	DALY	2.94E-14	4.92E-15
126	Ethene	Air	DALY	7.03E-11	1.67E-11
127	Ethene, chloro-	Air	DALY	4.76E-17	8.91E-18
128	Ethyne	Air	DALY	1.36E-14	2.4E-16
130	Formaldehyde	Air	DALY	3.56E-13	5.1E-14
133	Heptane	Air	DALY	1.45E-12	3.45E-13
134	Hexane	Air	DALY	2.81E-12	6.67E-13
135	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	Air	DALY	1.34E-12	3.01E-13
136	Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspecified	Air	DALY	2.75E-13	2.89E-14
137	Hydrocarbons, aromatic	Air	DALY	4.48E-12	6.98E-13
138	Hydrocarbons, chlorinated	Air	DALY	1.51E-18	5.78E-20
139	Hydrocarbons, halogenated	Air	DALY	2.14E-19	4.67E-18
140	Hydrocarbons, unspecified	Air	DALY	x	1.2E-13
141	Hydrogen-3, Tritium	Air	DALY	4.14E-14	8.06E-15
146	Iodine-129	Air	DALY	9.63E-13	1.87E-13
147	Iodine-131	Air	DALY	1.95E-17	3.71E-18
148	Iodine-133	Air	DALY	5.95E-19	1.16E-19
152	Krypton-85	Air	DALY	2.47E-12	4.8E-13
160	Lead-210	Air	DALY	1.4E-14	1.05E-15
165	Metals, unspecified	Air	DALY	7.14E-09	9.37E-10
166	Methane	Air	DALY	6.96E-09	1.12E-09
167	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	DALY	1.61E-10	4.52E-11
168	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	DALY	1.14E-14	2.21E-15
169	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	Air	DALY	8.3E-14	1.61E-14

Çizelge Ek 4.1. (devam) Sekil 7.3 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler

170	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	DALY	9.61E-16	4.98E-17
171	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	DALY	7.17E-14	1.39E-14
172	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	DALY	2.4E-11	5.81E-12
173	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	DALY	7.24E-13	1.2E-13
174	Methane, tetrafluoro-, FC-14	Air	DALY	7.56E-11	7.46E-10
175	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	DALY	1.87E-13	3.64E-14
176	Methanol	Air	DALY	1.29E-14	2.06E-15
179	Nickel	Air	DALY	1.02E-11	3.21E-12
182	Nitrogen oxides	Air	DALY	0.000000285	6.85E-08
183	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Air	DALY	1.28E-09	4.62E-10
185	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Air	DALY	6.2E-12	9.5E-12
186	Particulates	Air	DALY	0.000000018	9.12E-09
187	Particulates, < 10 um (mobile)	Air	DALY	5.23E-08	1.28E-08
188	Particulates, < 10 um (stationary)	Air	DALY	1.68E-08	2.64E-09
190	Pentane	Air	DALY	6.12E-12	1.42E-12
191	Phenol	Air	DALY	3.19E-16	4.61E-17
192	Phenol, pentachloro-	Air	DALY	5.99E-16	1.4E-16
195	Plutonium-238	Air	DALY	2.84E-20	5.52E-21
197	Plutonium-alpha	Air	DALY	9.45E-16	1.83E-16
198	Polonium-210	Air	DALY	2.38E-14	1.61E-15
202	Propane	Air	DALY	6.06E-12	1.34E-12
203	Propene	Air	DALY	1.16E-12	2.37E-13
204	Propionic acid	Air	DALY	1.05E-15	6.97E-17
208	Radium-226	Air	DALY	5.13E-15	7.38E-16
211	Radon-222	Air	DALY	6.63E-12	1.29E-12
222	Sulfur oxides	Air	DALY	5.53E-08	1.94E-08
223	t-Butyl methyl ether	Air	DALY	1.98E-15	4.79E-16
229	Thorium-230	Air	DALY	5.7E-14	1.11E-14
234	Toluene	Air	DALY	1.2E-12	2.7E-13
236	Uranium-234	Air	DALY	1.32E-13	2.57E-14
237	Uranium-235	Air	DALY	1.39E-15	2.7E-16
238	Uranium-238	Air	DALY	2.51E-14	2.94E-15
242	Xenon-133	Air	DALY	1.77E-15	3.44E-16

Çizelge Ek 4.1. (devam) Sekil 7.3 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler

243	Xenon-133m	Air	DALY	8.85E-19	1.72E-19
248	Xylene	Air	DALY	4.61E-12	1.1E-12
253	Radon-222	Air	DALY	6.08E-10	1.18E-10
262	Antimony-124	Water	DALY	2.81E-16	5.44E-17
265	Arsenic, ion	Water	DALY	2.65E-08	2.6E-09
269	Benzene	Water	DALY	2.04E-12	4.85E-13
276	Cadmium, ion	Water	DALY	7.97E-09	2.08E-09
282	Cesium-134	Water	DALY	3.39E-12	6.57E-13
284	Cesium-137	Water	DALY	3.78E-11	7.35E-12
288	Chloroform	Water	DALY	1.16E-14	2.18E-15
291	Chromium VI	Water	DALY	8.6E-20	8.05E-19
295	Cobalt-58	Water	DALY	9.09E-17	1.72E-17
296	Cobalt-60	Water	DALY	4.61E-12	8.95E-13
305	Ethene, chloro-	Water	DALY	1.53E-19	2.86E-20
306	Ethene, tetrachloro-	Water	DALY	8.95E-19	1.68E-19
310	Formaldehyde	Water	DALY	8.06E-16	1.95E-16
318	Hydrogen-3, Tritium	Water	DALY	3.19E-13	6.19E-14
324	Iodine-131	Water	DALY	2.35E-17	4.51E-18
334	Manganese-54	Water	DALY	4.97E-15	9.66E-16
336	Metallic ions, unspecified	Water	DALY	5.59E-10	1.73E-10
337	Methane, dichloro-, HCC-30	Water	DALY	1.51E-14	3.52E-15
338	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Water	DALY	2.4E-15	4.49E-16
342	Nickel, ion	Water	DALY	7.04E-17	6.99E-18
349	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Water	DALY	1.37E-10	9.92E-11
354	Phthalate, dioctyl-	Water	DALY	1.43E-15	3.48E-16
368	Radium-226	Water	DALY	1.18E-12	2.31E-13
377	Silver-110	Water	DALY	6.65E-16	1.29E-16
407	Uranium-234	Water	DALY	6.77E-15	1.31E-15
408	Uranium-235	Water	DALY	9.66E-15	1.88E-15
409	Uranium-238	Water	DALY	1.65E-14	3.21E-15
429	Cadmium	Soil	DALY	x	5.52E-12
439	Arsenic	Soil	DALY	2.31E-11	5.38E-12
440	Cadmium	Soil	DALY	1.05E-12	2.55E-13

Çizelge Ek 4.2. Sekil 7.3 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (ekosistem kalitesi)

SimaPro 6.0	Inventory	Date:30.06.2005	Time:16:00:39		
Title:	Comparing 1 p life cycle 'A2' with 1 p life cycle 'A1'				
Method:	Eco-indicator 99 (H) V2.1(040205) / Europe EI 99 H/A				
Compartment:	All compartments				
Indicator:	Damage assessment				
Category:	Ekosistem Kalitesi				
Skip unused:	No				
Relative mode:	Non				
Cut-off:	0%				
Code No	Substance	Compartment	Unit	A1	A2
	Total of all compartments		PDF*m2yr	0.0351	0.0094
78	Ammonia	Air	PDF*m2yr	0.0000754	0.0000662
83	Arsenic	Air	PDF*m2yr	0.0000464	0.0000109
87	Benzene	Air	PDF*m2yr	8.16E-09	1.49E-09
89	Benzene, hexachloro-	Air	PDF*m2yr	7.46E-12	1.75E-12
91	Benzo(a)pyrene	Air	PDF*m2yr	0.000000134	2.55E-08
97	Cadmium	Air	PDF*m2yr	0.000126	0.0000367
108	Chromium	Air	PDF*m2yr	0.0000555	0.00000937
114	Copper	Air	PDF*m2yr	0.000123	0.0000203
120	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	Air	PDF*m2yr	2.95E-09	1.15E-09
159	Lead	Air	PDF*m2yr	-0.00227	0.000531
164	Mercury	Air	PDF*m2yr	0.0000103	0.00000148
165	Metals, unspecified	Air	PDF*m2yr	0.00261	0.000343
179	Nickel	Air	PDF*m2yr	0.00169	0.00053
182	Nitrogen oxides	Air	PDF*m2yr	0.0184	0.00441
185	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Air	PDF*m2yr	2.81E-11	4.31E-11
192	Phenol, pentachloro-	Air	PDF*m2yr	1.1E-12	2.59E-13
222	Sulfur oxides	Air	PDF*m2yr	0.00105	0.00037
234	Toluene	Air	PDF*m2yr	2.12E-10	4.77E-11
249	Zinc	Air	PDF*m2yr	0.0123	0.00297
265	Arsenic, ion	Water	PDF*m2yr	0.0000046	0.000000452
269	Benzene	Water	PDF*m2yr	2.38E-08	5.66E-09

Çizelge Ek 4.2. (devam) Sekil 7.3 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (ekosistem kalitesi)

276	Cadmium, ion	Water	PDF*m2yr	0.0000537	0.000014
289	Chromium	Water	PDF*m2yr	0.0000867	0.0000108
291	Chromium VI	Water	PDF*m2yr	7.16E-09	0.00000067
292	Chromium, ion	Water	PDF*m2yr	0.0000537	0.00000336
298	Copper, ion	Water	PDF*m2yr	0.00015	0.0000285
330	Lead	Water	PDF*m2yr	0.00000827	0.000000993
335	Mercury	Water	PDF*m2yr	0.000000149	6.24E-08
336	Metallic ions, unspecified	Water	PDF*m2yr	0.00000467	0.00000144
342	Nickel, ion	Water	PDF*m2yr	0.000146	0.0000145
349	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Water	PDF*m2yr	1.1E-10	8.01E-11
354	Phthalate, dioctyl-	Water	PDF*m2yr	1.37E-12	3.34E-13
402	Toluene	Water	PDF*m2yr	7.43E-08	2.27E-08
418	Zinc, ion	Water	PDF*m2yr	0.000038	0.00000478
429	Cadmium	Soil	PDF*m2yr	x	0.0000138
432	Lead	Soil	PDF*m2yr	x	7.44E-08
433	Mercury	Soil	PDF*m2yr	x	0.000000333
438	Zinc	Soil	PDF*m2yr	x	2.02E-09
439	Arsenic	Soil	PDF*m2yr	0.00000107	0.000000248
440	Cadmium	Soil	PDF*m2yr	0.00000263	0.000000636
443	Chromium	Soil	PDF*m2yr	0.0000928	0.0000216
445	Copper	Soil	PDF*m2yr	0.000000741	0.000000176
447	Lead	Soil	PDF*m2yr	2.93E-08	6.99E-09
449	Mercury	Soil	PDF*m2yr	2.39E-08	5.5E-09
450	Nickel	Soil	PDF*m2yr	0.00000542	0.00000129
454	Zinc	Soil	PDF*m2yr	0.00021	0.000049

Çizelge Ek 4.3. Sekil 7.3 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (dogal kaynaklar)

SimaPro 6.0 Inventory		Date: 30.06.2005	Time: 16:00:54		
Title:	Comparing 1 p life cycle 'A2' with 1 p life cycle 'A1'				
Method:	Eco-indicator 99 (H) V2.1(040205) / Europe EI 99 H/A				
Compartment:	All compartments				
Indicator:	Damage assessment				
Category:	Dogal Kaynaklar				
Skip unused:	No				
Relative mode:	Non				
Cut-off:	0%				
Code No	Substance	Compartment	Unit	A1	A2
	Total of all compartments		MJ surplus	0.894	0.207
16	Bauxite, in ground	Raw	MJ surplus	0.00618	0.00248
18	Chromium, in ground	Raw	MJ surplus	0.0000223	0.00000538
21	Coal, 18 MJ per kg, in ground	Raw	MJ surplus	0.0182	0.00188
24	Copper, in ground	Raw	MJ surplus	0.00155	0.000365
26	Energy, from coal	Raw	MJ surplus	x	0.000157
28	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/kg	Raw	MJ surplus	0.00245	0.000115
29	Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	Raw	MJ surplus	0.386	0.00486
30	Gas, natural, 36.6 MJ per m3, in ground	Raw	MJ surplus	0.0131	0.0208
31	Gas, natural, feedstock, 35 MJ per m3, in ground	Raw	MJ surplus	x	0.0167
34	Iron ore, in ground	Raw	MJ surplus	-2.37E-08	3.39E-08
35	Iron, in ground	Raw	MJ surplus	0.000251	0.0000588
36	Lead, in ground	Raw	MJ surplus	0.00175	0.000429
38	Manganese, in ground	Raw	MJ surplus	0.00000223	0.000000532
41	Molybdenum, in ground	Raw	MJ surplus	2.13E-09	4.81E-10
42	Nickel, in ground	Raw	MJ surplus	0.000359	0.000087
43	Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	Raw	MJ surplus	0.464	0.142
44	Oil, crude, feedstock, 41 MJ per kg, in ground	Raw	MJ surplus	x	0.0173
55	Tin, in ground	Raw	MJ surplus	0.0000761	0.0000181
59	Zinc, in ground	Raw	MJ surplus	0.00000684	0.00000165

EK-5 Peynir Ambalajlamasi LCA Veri Tabani (SimaPro 6.0.4)

Çizelge Ek 5.1. Sekil 7.4 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (insan sagligi)

SimaPro 6.0		Date:30.06.2005 Time:22:56:20							
Title:	Inventory								
Method:	Comparing product stages								
Compartment:	Eco-indicator 99 (H)(040205) V2.02 / Europe EI 99 H/A								
Indicator:	All compartments								
Category:	Damage assessment								
Skip unused:	Insan sagligi								
Relative mode:	No								
Cut-off:	Non								
	0%								
Code No	Substance	Compartment	Unit	B1 P1	B1 P2	B1 P3	B1 P4	B1 P5	B1 P6
	Total of all compartments		DALY	3.01E-07	2.45E-07	2.97E-07	2.74E-07	2.88E-07	3.15E-07
20	Ammonia	Air	DALY	5.3E-11	3.98E-11	5.68E-11	5.15E-11	6.02E-11	6.17E-11
21	Benzene	Air	DALY	5.46E-12	5.11E-12	5.51E-12	5.36E-12	5.39E-12	5.48E-12
22	Cadmium	Air	DALY	2.41E-10	1.93E-10	2.71E-10	2.52E-10	2.64E-10	2.53E-10
23	Carbon dioxide	Air	DALY	4.92E-08	3.89E-08	4.91E-08	4.5E-08	5.78E-08	6.2E-08
24	Carbon monoxide	Air	DALY	9.53E-11	8.84E-11	9.56E-11	9.27E-11	1.07E-10	1.09E-10
25	Dinitrogen monoxide	Air	DALY	1.36E-10	1.18E-10	1.46E-10	1.39E-10	1.43E-10	1.4E-10
26	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	Air	DALY	1.92E-13	1.44E-13	1.44E-13	1.25E-13	2.86E-10	2.86E-10
27	Hydrocarbons, aromatic	Air	DALY	4.26E-12	3.31E-12	4.45E-12	4.07E-12	4.11E-12	4.3E-12
28	Hydrocarbons, chlorinated	Air	DALY	4.53E-19	3.59E-19	5.48E-18	5.44E-18	5.44E-18	4.53E-19
29	Hydrocarbons, halogenated	Air	DALY	3.67E-18	2.76E-18	2.85E-18	2.48E-18	3.87E-17	3.98E-17
30	Hydrocarbons, unspecified	Air	DALY	x	x	1.57E-12	1.57E-12	1.57E-12	x
37	Metals, unspecified	Air	DALY	5.67E-09	4.27E-09	6.33E-09	5.77E-09	5.77E-09	5.67E-09
38	Methane	Air	DALY	5.46E-09	4.14E-09	4.84E-09	4.32E-09	3.02E-09	4.16E-09
39	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	DALY	4.4E-11	3.69E-11	4.07E-11	3.78E-11	3.78E-11	4.4E-11
40	Nickel	Air	DALY	4.91E-12	3.88E-12	5.68E-12	5.27E-12	5.26E-12	4.91E-12
41	Nitrogen oxides	Air	DALY	1.38E-07	1.18E-07	1.33E-07	1.25E-07	1.27E-07	1.39E-07
42	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Air	DALY	9.77E-10	8.09E-10	8.65E-10	7.97E-10	8.04E-10	9.84E-10
43	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Air	DALY	4.34E-13	3.38E-13	5.06E-13	4.67E-13	4.68E-13	4.34E-13
44	Particulates	Air	DALY	3.15E-08	2.41E-08	3.17E-08	2.88E-08	2.98E-08	3.26E-08
46	Sulfur oxides	Air	DALY	5.47E-08	4.18E-08	5.39E-08	4.87E-08	4.88E-08	5.48E-08

Çizelge Ek 5.1. (devam) Sekil 7.4 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (insan sagligi)

Code No	Substance	Compartment	Unit	B1 P1	B1 P2	B1 P3	B1 P4	B1 P5	B1 P6
51	Arsenic, ion	Water	DALY	1.36E-08	1.02E-08	1.45E-08	1.31E-08	1.31E-08	1.36E-08
54	Cadmium, ion	Water	DALY	5.12E-10	3.96E-10	5.29E-10	4.82E-10	4.79E-10	5.09E-10
68	Metallic ions, unspecified	Water	DALY	1.24E-09	9.66E-10	1.16E-09	1.05E-09	1.05E-09	1.24E-09
69	Nickel, ion	Water	DALY	3.59E-17	2.69E-17	3.81E-17	3.46E-17	3.46E-17	3.59E-17
73	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Water	DALY	5.67E-11	4.75E-11	5.25E-11	4.88E-11	4.87E-11	5.67E-11
90	Cadmium	Soil	DALY	1.46E-13	1.1E-13	1.1E-13	9.52E-14	2.19E-14	7.32E-14

Çizelge Ek 5.2. Sekil 7.4 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (ekosistem kalitesi)

No	Substance	Compartment	Unit	B1 P1	B1 P2	B1 P3	B1 P4	B1 P5	B1 P6	
SimaPro 6.0 Inventory				Date:30.06.2005	Time:22:56:44					
Title: Comparing product stages										
Method: Eco-indicator 99 (H)(040205) V2.02 / Europe EI 99 H/A										
Compartment: All compartments										
Indicator: Damage assessment										
Category: Ekosistem Kalitesi										
Skip unused: No										
Relative mode: Non										
Cut-off: 0%										
Total of all compartments				PDF*m2yr	0.0134	0.0111	0.0135	0.0125	0.0126	0.0135
20	Ammonia	Air	PDF*m2yr	9.71E-06	7.29E-06	1.04E-05	9.43E-06	0.000011	1.13E-05	
21	Benzene	Air	PDF*m2yr	5.05E-09	4.74E-09	5.1E-09	4.97E-09	4.99E-09	5.08E-09	
22	Cadmium	Air	PDF*m2yr	1.72E-05	1.38E-05	1.94E-05	0.000018	1.89E-05	1.81E-05	
26	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	Air	PDF*m2yr	1.42E-10	1.06E-10	1.06E-10	9.2E-11	2.11E-07	2.11E-07	
34	Lead	Air	PDF*m2yr	6.27E-05	4.83E-05	7.11E-05	6.54E-05	6.55E-05	6.28E-05	
36	Mercury	Air	PDF*m2yr	4.55E-06	3.42E-06	4.69E-06	4.24E-06	6.74E-06	7.05E-06	
37	Metals, unspecified	Air	PDF*m2yr	0.00207	0.00156	0.00232	0.00211	0.00211	0.00208	
40	Nickel	Air	PDF*m2yr	0.000812	0.000642	0.00094	0.000871	0.000871	0.000812	
41	Nitrogen oxides	Air	PDF*m2yr	0.00886	0.00763	0.00857	0.00807	0.00817	0.00896	
43	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Air	PDF*m2yr	1.97E-12	1.53E-12	2.29E-12	2.12E-12	2.12E-12	1.97E-12	
46	Sulfur oxides	Air	PDF*m2yr	0.00104	0.000797	0.00103	0.000929	0.00093	0.00104	
47	Zinc	Air	PDF*m2yr	0.000223	0.000176	0.000223	0.000204	0.000205	0.000224	
51	Arsenic, ion	Water	PDF*m2yr	2.36E-06	1.77E-06	2.52E-06	2.28E-06	2.28E-06	2.36E-06	
54	Cadmium, ion	Water	PDF*m2yr	3.45E-06	2.67E-06	3.56E-06	3.25E-06	3.23E-06	3.43E-06	
56	Chromium	Water	PDF*m2yr	0.000071	5.34E-05	7.57E-05	6.86E-05	6.87E-05	0.000071	
58	Copper, ion	Water	PDF*m2yr	7.55E-05	5.67E-05	8.05E-05	0.000073	7.31E-05	7.55E-05	
66	Lead	Water	PDF*m2yr	3.84E-06	2.88E-06	4.15E-06	3.77E-06	3.77E-06	3.84E-06	
67	Mercury	Water	PDF*m2yr	1.04E-07	7.83E-08	8.84E-08	7.81E-08	9.66E-08	1.23E-07	
68	Metallic ions, unspecified	Water	PDF*m2yr	1.03E-05	8.07E-06	9.66E-06	8.75E-06	8.74E-06	1.03E-05	
69	Nickel, ion	Water	PDF*m2yr	7.42E-05	5.57E-05	7.89E-05	7.15E-05	7.16E-05	7.42E-05	

Çizelge Ek 5.2. (devam) Sekil 7.4 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (ekosistem kalitesi)

Code No	Substance	Compartment	Unit	B1 P1	B1 P2	B1 P3	B1 P4	B1 P5	B1 P6
73	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Water	PDF*m2yr	4.58E-11	3.84E-11	4.24E-11	3.94E-11	3.93E-11	4.58E-11
83	Toluene	Water	PDF*m2yr	3.46E-08	2.89E-08	3.2E-08	2.97E-08	2.96E-08	3.45E-08
85	Zinc, ion	Water	PDF*m2yr	0.000017	1.27E-05	1.81E-05	1.64E-05	1.64E-05	1.69E-05
90	Cadmium	Soil	PDF*m2yr	3.66E-07	2.74E-07	2.74E-07	2.38E-07	5.46E-08	1.83E-07
93	Lead	Soil	PDF*m2yr	1.32E-11	9.91E-12	9.91E-12	8.58E-12	1.97E-12	6.61E-12
94	Mercury	Soil	PDF*m2yr	5.19E-07	3.89E-07	3.89E-07	3.37E-07	7.75E-08	2.59E-07
97	Zinc	Soil	PDF*m2yr	1.07E-10	8.03E-11	8.03E-11	6.95E-11	1.6E-11	5.35E-11

Çizelge Ek 5.3. Sekil 7.4 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (dogal kaynaklar)

SimaPro 6.0 Inventory		Date:30.06.2005 Time:22:58:07							
Title: Comparing product stages									
Method: Eco-indicator 99 (H)(040205) V2.02 / Europe EI 99 H/A									
Compartment: All compartments									
Indicator: Damage assessment									
Category: Dogal Kaynaklar									
Skip unused: No									
Relative mode: Non									
Cut-off: 0%									
No	Substance	Compartment	Unit	B1 P1	B1 P2	B1 P3	B1 P4	B1 P5	B1 P6
	Total of all compartments		MJ surplus	0.606	0.473	0.51	0.456	0.456	0.605
3	Bauxite, in ground	Raw	MJ surplus	9.8E-06	7.35E-06	7.59E-06	6.61E-06	6.61E-06	9.8E-06
4	Coal, 18 MJ per kg, in ground	Raw	MJ surplus	0.00978	0.00734	0.0105	0.0095	0.0095	0.00978
6	Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground	Raw	MJ surplus	0.00726	0.00622	0.0125	0.0121	0.0121	0.00726
7	Gas, natural, 36.6 MJ per m3, in ground	Raw	MJ surplus	0.0835	0.0626	0.0647	0.0563	0.0564	0.0836
8	Gas, natural, feedstock, 35 MJ per m3, in ground	Raw	MJ surplus	0.0643	0.0482	0.0498	0.0434	0.0434	0.0643
9	Iron ore, in ground	Raw	MJ surplus	4.26E-07	3.2E-07	3.3E-07	2.88E-07	2.88E-07	4.27E-07
11	Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	Raw	MJ surplus	0.201	0.168	0.186	0.173	0.173	0.2
12	Oil, crude, feedstock, 41 MJ per kg, in ground	Raw	MJ surplus	0.24	0.18	0.186	0.162	0.162	0.24

Çizelge Ek 5.4. Sekil 7.5 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (insane sagligi)

SimaPro 6.0 Inventory				Date:30.06.2005	Time:22:56:20		
Title:	Comparing product stages						
Method:	Eco-indicator 99 (H)(040205) V2.02 / Europe EI 99 H/A						
Compartment:	All compartments						
Indicator:	Damage assessment						
Category:	Insan Sagligi						
Skip unused:	No						
Relative mode:	Non						
Cut-off:	0%						
No	Substance	Compartment	Unit	B2 T1P1	B2 T2P2	B2 T3P3	B2 T4P4
	Total of all compartments		DALY	4.59E-07	3.64E-07	4.36E-07	3.98E-07
27	Aldehydes, unspecified	Air	DALY	1.19E-13	8.92E-14	9.22E-14	8.51E-14
28	Ammonia	Air	DALY	5.47E-11	4.11E-11	5.63E-11	5.06E-11
29	Benzene	Air	DALY	7.36E-12	6.63E-12	7.59E-12	7.26E-12
30	Cadmium	Air	DALY	2.01E-09	1.52E-09	1.64E-09	1.44E-09
31	Carbon dioxide	Air	DALY	1.15E-07	8.84E-08	1.05E-07	9.46E-08
32	Carbon monoxide	Air	DALY	8.56E-10	6.6E-10	7.39E-10	6.6E-10
35	Dinitrogen monoxide	Air	DALY	2.26E-10	1.87E-10	2.27E-10	2.1E-10
36	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	Air	DALY	7.88E-14	5.91E-14	5.91E-14	5.48E-14
37	Hydrocarbons, aromatic	Air	DALY	4.29E-12	3.35E-12	4.56E-12	4.17E-12
38	Hydrocarbons, chlorinated	Air	DALY	4.76E-19	3.78E-19	2.22E-18	1.87E-18
39	Hydrocarbons, halogenated	Air	DALY	7.54E-18	5.65E-18	9.12E-18	8.43E-18
40	Hydrocarbons, unspecified	Air	DALY	x	x	5.44E-13	4.47E-13
48	Metals, unspecified	Air	DALY	5.92E-09	4.47E-09	6.44E-09	5.81E-09
49	Methane	Air	DALY	9.08E-09	6.86E-09	7.76E-09	6.92E-09
50	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	DALY	4.46E-11	3.77E-11	4.27E-11	3.99E-11
51	Nickel	Air	DALY	1.28E-11	9.84E-12	1.13E-11	1.01E-11
52	Nitrogen oxides	Air	DALY	1.75E-07	1.48E-07	1.73E-07	1.62E-07
53	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Air	DALY	1E-09	8.35E-10	9.29E-10	8.73E-10
54	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Air	DALY	1.38E-12	1.05E-12	1.39E-12	1.25E-12
55	Particulates	Air	DALY	3.81E-08	2.91E-08	3.79E-08	3.43E-08

Çizelge Ek 5.5. Sekil 7.5 (b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (ekosistem kalitesi)

SimaPro 6.0 Inventory		Date:30.06.2005 Time:22:56:20					
Title:	Comparing product stages						
Method:	Eco-indicator 99 (H)(040205) V2.02 / Europe EI 99 H/A						
Compartment:	All compartments						
Indicator:	Damage assessment						
Category:	Ekosistem Kalitesi						
Skip unused:	No						
Relative mode:	Non						
Cut-off:	0%						
No	Substance	Compartment	Unit	B2 T1P1	B2 T2P2	B2 T3P3	B2 T4P4
	Total of all compartments		PDF*m2yr	0.0197	0.0159	0.0197	0.0182
28	Ammonia	Air	PDF*m2yr	0.00001	7.53E-06	1.03E-05	9.26E-06
29	Benzene	Air	PDF*m2yr	6.82E-09	6.15E-09	7.03E-09	6.73E-09
30	Cadmium	Air	PDF*m2yr	0.000144	0.000109	0.000117	0.000103
33	Chromium	Air	PDF*m2yr	7.23E-05	5.42E-05	8.05E-05	7.33E-05
34	Copper	Air	PDF*m2yr	4.74E-05	3.56E-05	0.000061	5.62E-05
36	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	Air	PDF*m2yr	5.81E-11	4.36E-11	4.36E-11	4.04E-11
45	Lead	Air	PDF*m2yr	0.0015	0.00113	0.00193	0.00178
47	Mercury	Air	PDF*m2yr	5.23E-06	3.93E-06	5.49E-06	4.97E-06
48	Metals, unspecified	Air	PDF*m2yr	0.00217	0.00164	0.00236	0.00213
51	Nickel	Air	PDF*m2yr	0.00212	0.00163	0.00187	0.00167
52	Nitrogen oxides	Air	PDF*m2yr	0.0112	0.0095	0.0111	0.0104
54	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Air	PDF*m2yr	6.24E-12	4.74E-12	6.3E-12	5.68E-12
57	Sulfur oxides	Air	PDF*m2yr	0.0013	0.000994	0.00123	0.0011
60	Zinc	Air	PDF*m2yr	0.000299	0.000234	0.000283	0.000256
64	Arsenic, ion	Water	PDF*m2yr	0.000007	5.25E-06	6.03E-06	5.32E-06
68	Cadmium, ion	Water	PDF*m2yr	8.25E-06	6.27E-06	7.22E-06	6.42E-06
70	Chromium	Water	PDF*m2yr	0.000215	0.000161	0.000193	0.000171
72	Copper, ion	Water	PDF*m2yr	0.000226	0.000169	0.000196	0.000173
80	Lead	Water	PDF*m2yr	1.15E-05	8.61E-06	9.94E-06	8.77E-06
81	Mercury	Water	PDF*m2yr	5.46E-07	4.09E-07	5.26E-07	4.73E-07

Çizelge Ek 5.5. (devam) Sekil 7.5(b)'de verilen zarar degerlendirmesiyle ilgili veriler (ekosistem kalitesi)

Code No	Substance	Compartment	Unit	B1 P1	B1 P2	B1 P3	B1 P4
82	Metallic ions, unspecified	Water	PDF*m2yr	0.000016	1.24E-05	1.41E-05	1.26E-05
83	Nickel, ion	Water	PDF*m2yr	0.000221	0.000166	0.000192	0.000169
87	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Water	PDF*m2yr	4.82E-11	4.05E-11	4.58E-11	4.28E-11
97	Toluene	Water	PDF*m2yr	3.65E-08	3.06E-08	3.47E-08	3.24E-08
99	Zinc, ion	Water	PDF*m2yr	5.03E-05	3.77E-05	4.33E-05	3.82E-05
113	Cadmium	Soil	PDF*m2yr	1.27E-07	9.52E-08	9.52E-08	8.82E-08
116	Lead	Soil	PDF*m2yr	4.58E-12	3.44E-12	3.44E-12	3.18E-12