
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 27.03.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 06.07.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.300851	

Yaşam döngüsü analizinin ambalaj atıklarının yönetiminde kullanılması

Aliye Suna Erses Yay*¹

ÖZ

Sakarya-Serdivan ilçesi ambalaj atıkları yönetiminin çevresel etkilerini yaşam döngüsü analizi (YDA) ile belirlemek bu çalışmanın ana amacıdır. Yaşam döngüsü analizinde Simapro 8.02 yazılımı ve CLM-IA etki kategorisi kullanılmıştır. Çalışmanın fonksiyonel birimi olarak Sakarya-Serdivan'da toplanan 1 ton ambalaj atığı ele alınmıştır. Sistem sınırları ambalaj atığının toplanması, toplama-ayırma-geri dönüşüm tesisine nakliyesi, karışık ambalaj atıklarının ayrılması, kağıt, karton, metalin preslenip geri dönüşüm firmalarına satılması, plastik atıkların granül hale getirilmesi ve satılması, cam atıkların preslenmeden ilgili firmalara satılması, geri kalan artıkların veya geri dönüştürülemeyen malzemelerin düzenli depolamada bertarafıdır. Bu çalışmada ambalaj atığı yönetimi için 3 senaryo kurgulanmış olup, senaryolardan ikisinde gerçek ve yönetmelikte olması gereken oranlarda geri dönüşüm yapılırken, son senaryoda hiç geri dönüştürülmeden düzenli depolamaya gönderilmektedir. Sonuçlara baktığımızda, ambalaj atıklarının depolanması en kötü bertaraf alternatifidir. En büyük olumsuz etkide tatlı su ve deniz ekotoksitesitesi ile ozon tabakasının tahribatı ve fosil yakıtların abiyotik tüketiminde hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: ambalaj atıkları, atık yönetimi, yaşam döngü analizi (YDA)

The use of life cycle analysis on the packaging waste management

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the environmental impacts of the packaging waste management for Sakarya-Serdivan by using life cycle analysis (LCA). Simapro 8.02 software with CLM-IA impact category was used to perform the LCA. Functional unit was considered as one ton of packaging waste collected in Sakarya-Serdivan. System boundaries include collection of packaging waste, transportation into sorting-recycling plant, separation of mixed packaging waste, sale of pressed papers, cardboards, metals and unpressed glasses to the relevant companies and recycling of plastics into granulate form and disposal of residual waste or non-recyclable materials by landfilling. In the study, 3 scenarios were modeled for packaging waste management. While packaging wastes are recycled at real and the regulation rates for two scenarios, landfilling of packaging waste without any recycling are focused on the last scenario. According to the results, landfilling of packaging waste is the worst alternative. It was observed higher negative impacts in the freshwater aquatic ecotoxicity, marine aquatic ecotoxicity, ozone layer depletion and abiotic depletion (fossil).

Keywords: packaging waste, waste management, life cycle analysis (LCA)

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, erses@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya üzerinde katı atık miktarının artan nüfus ve refah seviyesi, gelişen teknoloji, ekonomik büyüme, sanayileşme ve kentleşme sonucunda her geçen gün arttığı bilinen bir gerçektir. İnsanların değişen yaşam standartları, tüketim alışkanlıkları ve ekonomik seviyelerinin değişmesine paralel olarak atık kompozisyonları da değişmektedir. Atık kompozisyonunun değişmesiyle katı atık içerisinde önemli bir orana sahip olan ambalaj atıklarının sürdürülebilir yönetimi de her geçen gün önemini arttırmıştır. Farklı tanımları olmakla birlikte “ambalaj atıkları üretim atıkları hariç, ürünlerin veya herhangi bir malzemenin tüketiciye yada nihai kullanıcıya ulaştırılması aşamasında ürünün sunumu için kullanılan ve ürünün kullanılmasından sonra oluşan kullanım ömrü dolmuş tekrar kullanılabilir ambalajlar da dahil çevreye atılan veya bırakılan malzeme olarak kağıt, plastik, metal, cam, ahşap ve kompozitten yapılan satış, ikincil ve nakliye ambalajı atıkları olarak tanımlanmaktadır” [1].

Türkiye’de ambalaj atığı yönetimi ile ilgili ilk çalışmalar 1991 yılında Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nin Ek-1’inde 17 kalem gıda ve temizlik ürünü kaplarına depozito ve kota uygulanacak ürünler olarak belirlenmiştir. Bu ürünleri dolu olarak ithal edenlere belirli oranlarda geri toplama ve geri kazanma zorunluluğu getirilmiştir. Bu uygulama ambalaj atıklarının toplanması ve geri kazanılması konusunda yapılan çalışmaların temelini oluşturmuştur. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nde 2002 tarihinde değişiklik yapılarak yükümlülük verilen sanayi kuruluşları adına ambalaj atıklarını toplamak isteyen işletmelere Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından ön lisans ve lisans alma zorunluğu getirilmiştir. Avrupa Birliği uyum sürecinde 94/62 EC Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi kapsamında Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü yönetmeliği 30.07.2004 tarih ve 25538 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak 01.01.2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin yürürlüğe girmesi ile Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri yürürlükten kaldırılmıştır. Ambalaj atıkları yönetmeliği 24.06.2007 de revize edilmiş, 24.08.2011 tarihinde ise tekrar revize edilip son halini almıştır.

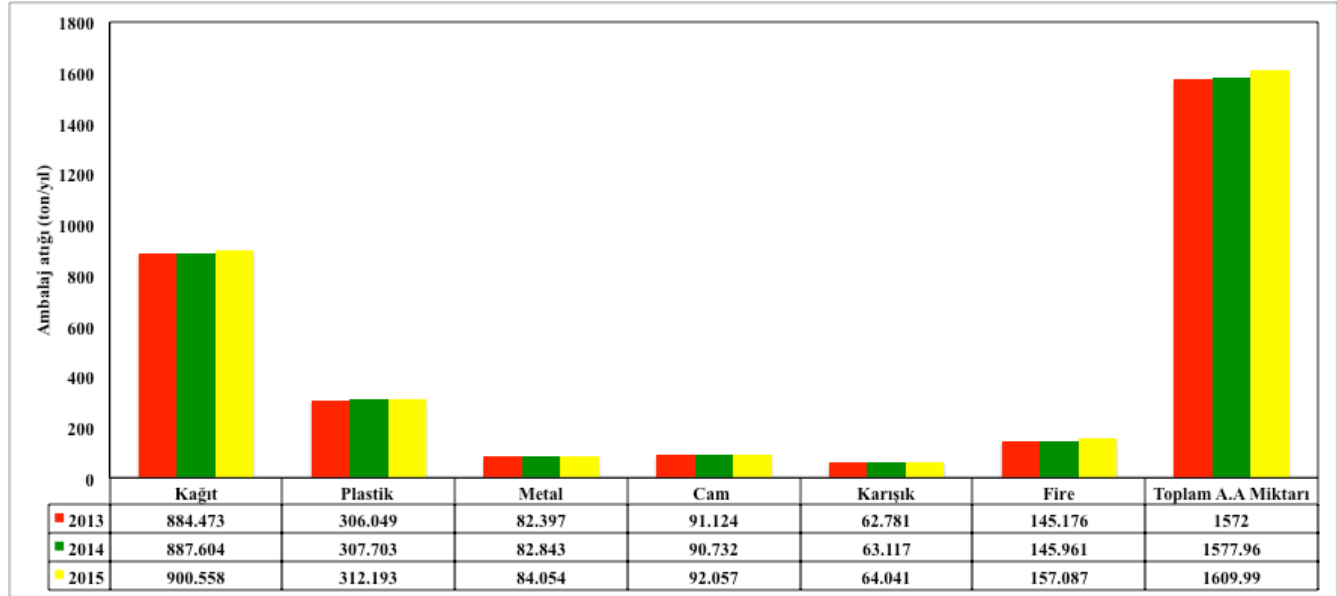
Sürdürülebilir atık yönetiminde bertaraf yöntemlerinin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarını hesaplamada yaşam döngüsü analizi önemli bir araçtır. Literatüre baktığımızda bu aracı kullanarak atık yönetimde optimum yönetim sistemi seçimini belirlemek için yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [2,3,4,5,6,7,8]. Ferreira ve arkadaşları [9] Portekiz’de yerel bir yönetimin ambalaj atıkları için toplama, ayrıştırma, geri dönüşüm, depolama ve yakma proseslerini kullanarak, ambalaj atıklarının geri dönüşümü, depolanması ve yakılması durumundaki çevresel etkileri karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, ayrıştırma ve geri dönüşümün, ambalaj atıklarının sadece yakılması veya depolanmasına göre daha olumlu çevresel etkileri olduğu YDA analizi ile matematiksel olarak kanıtlanmıştır. Chilton ve arkadaşları [10] atık pet şişelerin mekanik geri dönüşümü ile termal geri dönüşümünü karşılaştırarak mekanik geri dönüşümün çevresel boyutunun daha olumlu olduğunu hesaplamışlardır. Türkiye’de yapılan bir çalışma olarak Yıldız-Geyhan ve arkadaşları [11], yaşam döngüsü analizini İstanbul için çevreye duyarlı, optimum düzeyde kaynakta ayrılacak ambalaj atığı toplama sistemini belirlemek için kullanmışlardır. Aynı toplama sistemleri için yapılan 8 senaryo içerisinde 2 ve 3 lü ayrı toplama sistemi ile kaldırımdan toplamanın çevresel açıdan daha olumlu etkilere sahipken, daha fazla bileşene sahip ayrı toplama sistemlerinin çevresel etkilerinin daha az olduğunu hesaplamışlardır. Kentsel ve ambalaj atıkları yönetiminde yaşam döngüsü analizi ile Avrupa ve ABD gibi gelişmiş ülkelerde birçok çalışma olmasına rağmen, ülkemizde bu konuda eksiklikler bulunmaktadır. Bu eksikliği bir parça olsun gidermek için, bu çalışmada Sakarya-Serdivan ilçesi örnek yerleşim seçilerek oluşacak ambalaj atıklarının toplanması, ayrılması ve geri kazanılması sonucu oluşacak çevresel etkiler belirlenecektir. Mevcut ambalaj atıkları yönetimi ile olması hedeflenen yönetimin çevresel etkileri karşılaştırılacaktır. Sonuç olarak yaşam döngüsü analizi (YDA), yöneticiler ve karar vericiler için atıkların yönetimi esnasında oluşacak çevresel etkileri kontrol altına almak için nelere öncelik vermesini anlamaya ve yönetimi şekillendirmesine yardımcı olacaktır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Amaç ve Kapsamın Belirlenmesi (Goal and Scope Definition)

Çalışmanın ana amacı ambalaj atıkları yönetiminin kaynaklar, insanlar ve ekosistem üzerine etkilerini yaşam döngüsü analizi yardımı ile incelemektir. Bu amacı gerçekleştirmek için ambalaj atıkları karakterizasyonuna sahip

Sakarya-Serdivan ilçesi örnek yerleşim yeri olarak seçilmiştir. Çalışmanın fonksiyonel birimi olarak Sakarya-Serdivan'da toplanan 1 ton ambalaj atığı ele alınmıştır. Şekil 1'de Serdivan ilçesine ait yıllara göre toplanan ambalaj atıklarının miktarı verilmiş olup, ambalaj atığının % 56,1 kağıt, %19,5 plastik %5,2 metal, %5,8 cam, %4,0 karışık ambalajdır [12]. Toplanan ambalaj atığındaki fire oranı ise %9,4 tür. Yıllar bazında ambalaj atığı bileşenleri yüzdelerinde ise büyük farklar yaratacak artış veya azalış bulunmamaktadır.



Şekil 1. Serdivan ilçesinde toplanan ambalaj atıklarının yıllara göre dağılımı (Distribution of packaging wastes collected in Serdivan district by years)

Sakarya-Serdivan ilçesinde çıkan atık miktarı, Serdivan ilçesi nüfus verileri [13] ve 2014 yılı kişi başı günlük atık üretiminin 1.08 kg olması [14] ve her sene %1 artışla artması ile 2015 yılı için 46146 ton ve 2016 yılı için 47970 ton olarak hesaplanmıştır. Sakarya iline ait genel atık kompozisyonu % 41 organik atıklar, % 10 yanabilen atıklar, % 32 geri kazanımı mümkün atıklar ve % 17 inorganik ve diğer atıklardan oluşmaktadır [15]. Ancak kaynağında ayrı toplama çalışmaları istenilen seviyeye gelmediğinden Serdivan ilçesinde çıkan atık miktarları ile toplanan ambalaj atıkları miktarı karşılaştırıldığında karışık atık içerisindeki geri dönüşebilir atık oranının %10 civarında olduğu hesaplanmakta olup, geriye kalan %22'lik kısım düzenli depolamada bertaraf edilmektedir.

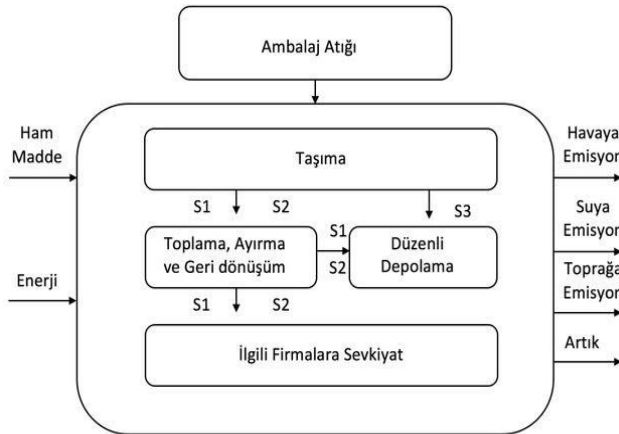
Çevresel etki değerlendirmesinin kapsamı ve bu kapsamı tanımlayan sistem sınırları ambalaj atığının toplanması, toplama-ayırma-geri dönüşüm tesisine ve/veya düzenli depolamaya nakliyesi, toplama-ayırma-geri dönüşüm tesisinde karışık ambalaj atıklarının ayrılması, kağıt, karton,

metalın preslenip geri dönüşüm firmalarına satılması, plastik atıkların kırılıp çapak haline getirilmesi, yıkanması, granül hale getirilmesi ve satılması, cam atıkların preslenmeden ilgili firmalara satılması, geri kalan artıkların veya geri dönüştürülemeyen malzemelerin düzenli depolamada bertarafıdır (Şekil 2). Bu çalışmada var olan yönetim sistemi ile olması gereken yönetim sistemleri için senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryoların çevresel etkileri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Senaryolar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Senaryo 1-(S1). Ambalaj atıklarının Sakarya-Serdivan verilerinden hesapla gerçek toplama-ayırma ve geri kazanım değerlerinde toplama-ayırma-geri dönüşüm tesisinde işlenmesi ve geri kalan atıkların Sakarya'nın mevcut düzenli depolama sahasına depolanması.

Senaryo 2-(S2). Ambalaj atıklarının yönetmelikte verilen hedefler doğrultusunda geri kazanımı ve geri kalan atıkların depolanması. Ambalaj atıkları yönetmeliğine göre bu hedef 2016 yılı için %52 dir [1].

Senaryo 3-(S3). Ambalaj atıklarının toplama ayırma-geri dönüşüm tesisleri tarafından toplanmayıp, karışık evsel atıkla Sakarya'nın mevcut düzenli depolama sahasında depolanması.



Şekil 2. Sistem sınırları (System boundaries)

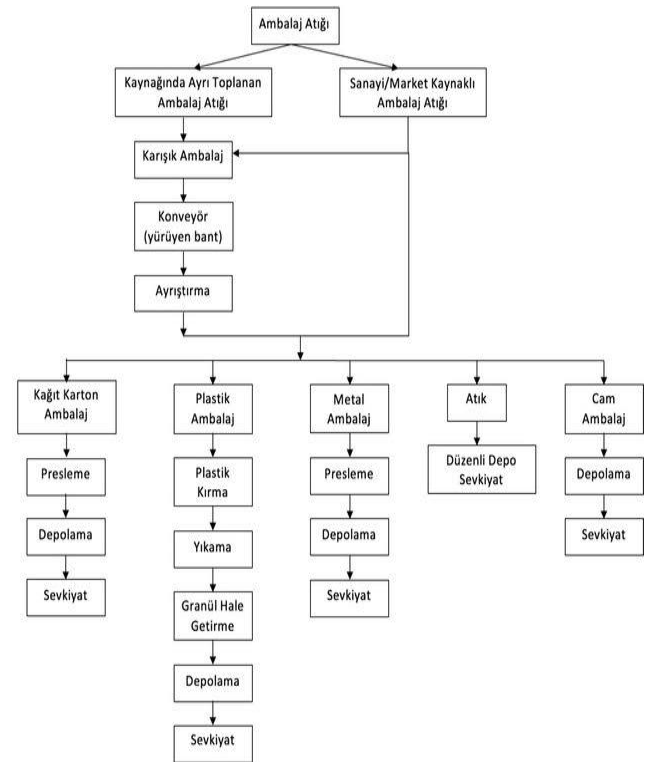
2.2. Veri toplama (Life Cycle Inventory)

Yaşam döngüsü analizinde envanter verileri, Sakarya-Serdivan ilçesinin ambalaj atıkları karakterizasyon çalışması, raporlar, literatür ve SimaPro 8.0.2 veritabanından toplanmıştır.

2.2.1 Atık Ayırma ve Geri Dönüşüm Tesisi (Material Sorting and Recovery Facility)

Sakarya'da bulunan toplama-ayırma ve geri dönüşüm tesisleri incelenerek örnek tesis akış şeması çıkarılmıştır. Serdivan ilçesinde ambalaj atığının % 61.4 'ü konutlardan % 38,6'sı sanayi ve marketlerden toplandığı için, örnek tesise girecek ambalaj atığı iki şekilde olacaktır (Şekil 3). İlki konutlardan kaynağında ayrı toplama çalışması sonucu toplanan karışık ambalaj atığıdır. Diğer ise marketler ve sanayi kuruluşlarından alınan ayrı ayrı toplanan ambalaj atıklarıdır.

Toplanan ambalaj atıkları ilk olarak atık kabul alanına alınıp, kantarda tartıldıktan sonra atık ayırma alanında geri dönüşüm bandına gönderilip, türlerine göre kağıt, karton, plastik (PE, PP, PET, PS), cam, metal ve fire (çöp) olarak ayrıştırılır. Kağıt/karton ve metal ambalaj atıkları kendi arasında kalitesine göre ayrılıp, presleme işlemine tabi tutulur. Preslemenin ardından balya halinde stoklanan kağıt/karton ve metal atıkları daha sonra ilgili firmalara satılmak üzere sevkiyata gönderilir. Cam ambalaj atıkları ise geri dönüşüm bandında ayrıştırıldıktan sonra depolanır ve ilgili firmalara satılmak üzere sevkiyata gönderilir.



Şekil 3. Örnek tesis akım şeması (Example plant flow diagram)

Plastik atıklar, ayırma bandına alınıp işçi yardımı ile elle cinslerine ayrılır ve ardından parçalayıp, küçültmek için kırma makinesine gönderilir. Çapak PE, çapak PP, çapak PET ve çapak PS yıkama işlemine tutulduktan sonra agromel makinasında yoğunlaştırılarak granül hale getirilip, satılmak üzere depolanır. Plastiklerin geri dönüşümü esnasında atık hammadde işlenmemiş atığın tam olarak yerini alamayacağından % 28 madde kaybı olacaktır [16]. Toplama- ayırma tesisi için forklift, ayırma bandı ve pres-balyalama makinesi gerekirken, plastik geri dönüşümü için forklift, ayırma bandı, plastik kırma makinası, yıkamadan sonrası için sıkma makinası, agromel makinası ve plastik extruder (granül) makinesi gerekmektedir. Toplama Ayırma ve Geri dönüşüm tesisinde proseslerden dolayı, elektrik, dizel ve su kullanımı söz konusudur. Banar'a [17] göre atık ayırma ve balyalama için elektrik tüketimi 0.059 kWh/ton iken Öztürk'e [18] göre kullanılan presin küçük veya büyük balya yapmasına göre motor gücü 7.5 kWh ile 150 kWh arasında değişmekte olup, ton atık başına elektrik tüketimi ortalama 3 kWh dir. Softa'nın yaptığı çalışma da [19] ise plastikleri ayırmada ihtiyaç duyulan enerji 0.02488 kWh/kg (24.88 kWh/ton) iken balyalamada kullanılan elektrik enerjisi 0.034 kWh/kg (34 kWh/ton) dir. McDougall ve arkadaşlarına [20] göre maddesel geri kazanım tesislerinde toplam yakıt ve elektrik tüketimi sırası ile 0.87 lt dizel/ton atık ve 22-27 kWh/ton atıktır.

Literatürde ortalama değerler çok değiştiğinden, bu çalışmada Türkiye koşullarına uygun olması açısından Sakarya'da bulunan tesislerden alınan gerçek değerler, ekipmanların satış katalogları ve

literatürden alınan değerler kullanılmış olup, Tablo 1 da özetlenmiştir.

Tablo 1. Tesiste kullanılan ekipmanların tükettiği hammadde ve enerji (Raw material and energy consumed by equipments)

Proses Adı	Kullanılan Ekipman	Tüketilen Kaynak ve Birimi	Referans
Taşıma	Forklift	2L/ton atık	[19]
Taşıma ve Ayırma	Konveyör Ayırma Bandı	0.37 kWh/ton atık	Tesis Bilgisi
Sıkıştırma ve Balyalama	Yatay Pres Makinesi	5 kWh/ton atık	[21]
Plastik Kırma	Plastik Kırma Makinesi (350 kg/saat)	62 kWh/ton atık	Tesis Bilgisi
Yıkama		1 m ³ su /ton atık	Tesis Bilgisi
Sudan Arındırma	Konik Sıkma Makinesi ALT-SM 250	150 kWh/ton atık	[22]
Ergitme	Agromel Makinesi NPK100 (200 kg/saat)	375 kWh/ton atık	[23]
Granül Hale Getirme	Granül Makinesi NSM110 (150 kg/saat)	430 kWh/ton atık	[24]

2.2.2. Düzenli Depolama (Landfilling)

Bu çalışmada, 1. ve 2. senaryolarda ambalaj atıklarının geri dönüştürülemeyen kısımları düzenli depoya gönderilirken, 3. senaryoda ambalaj atığı yönetimi yapılmayıp, hepsinin düzenli depoya gönderilmesi söz konusudur. Çalışmada seçilen örnek yer Sakarya olduğundan, gerçekçi olması için YDA envanterindeki depoların değerleri yerine Sakarya'daki düzenli depolamanın esas verileri baz alınmıştır [15]. 2015 yılında yapılan baca gazı analizi sonucu 19 bacadan sadece 2 baca % 30'un üzerinde metan (CH₄)'e sahip olup, diğer bacalar düşük değerlerde kalmıştır [15]. 19 bacanın ortalaması üretilen biyogazın içeriğinin ton atık başına normalize edilmiş değerleri Tablo 2 de verilmiştir. Aynı şekilde 2015 yılı sızıntı suyu analiz sonuçlarının normalize değerleri Tablo 2 de verilmiştir.

2.2.3. Taşıma ve Elektrik (Transport and Energy)

Taşıma, karışık ambalaj atığın toplanması, toplama-ayırma-geri dönüşüm tesisi ile düzenli depolama sahasına taşınması sırasında karayolu ulaşım araçlarının kullanılmasından dolayı oluşan çevresel etkileri içermektedir. Bertaraf yöntemlerinin karşılaştırılmasında önemli farklılığa sebep olmaması için kurgulanan toplama-ayırma-geri dönüşüm tesisi ile düzenli depolama sahasının aynı yerde olmasına karar verilmiştir. Atık toplama bölgesi ile Sakarya'nın düzenli depolama sahası arasındaki ulaşım mesafesi yaklaşık 19 km'dir. Ayrıca ayırma bandında ayrılan ve balyalanan kağıt metal, cam gibi ambalaj atıkları ile granül hale getirilmiş

plastik ambalaj atıklarının geri dönüşüm firmalarına sevkiyatı sırasında taşıma söz konusudur. Bu kısımda da taşımadan dolayı farklılıklar oluşmaması için geri dönüşüm firmaları aynı mesafede olacak şekilde şehir seçilmiştir. Gebze'de ayrıştırılan tüm atık türlerini alacak firmalar olduğundan, bu çalışmada 120 km mesafedeki Gebze sevkiyat yapılacak şehir olarak seçilmiştir. Taşıma için SimaPro 8.0.2-Ecoinvent veri tabanında bulunan 'Nakliye, belediye atık toplama, kamyon 21t / CH S' seçilmiştir.

Tablo 2. Sakarya Düzenli Depolama Emisyonları (Emissions of landfill in the Sakarya)

Sızıntı suyu emisyonu		Gaz emisyonlar	
Kompozisyon	Birimi (g/ton)	Kompozisyon	Birimi (g/ton)
KOİ	231	CH ₄	24
BOİ	145	O ₂	49
TKN	0.56	CO ₂	44
TP	0.093	CO	0.00034
TCr	0.056	H ₂	0.00129
Cr ⁺⁶	0.022	H ₂ S	0.02061
Pb	0.026		
Fe ⁺²	0.447		
Fe ⁺³	0.00015		
Cu	0.037		
Zn	0.074		
pH (birimsiz)	7.4		

Elektrik kullanımı, toplama-ayırma-geri dönüşüm tesisi ile düzenli depolama sahasında kullanılan ekipmanların elektriği tüketmesinden kaynaklı çevresel etkileri içermektedir. Bu kısım için SimaPro 8.0.2'deki elektrik ülke karışımı altında Türkiye için orta gerilim kullanılmıştır. Verilere göre, Türkiye'deki elektrik karışımı % 32.6 kömür/linyit; % 46.0 doğal gaz; % 20.5 hidroelektrik enerji ve %1,5 yenilenebilir

enerjidir. Yenilenebilir enerji, jeotermal, rüzgar, biyokütle ve atıkları içermektedir.

2.3. Etkilerin Değerlendirilmesi (Life Cycle Assessment)

Bu çalışmada çevresel etkiler CML-IA hesaplama yöntemi ile hesaplanmış olup, yöntemin etki grupları abiyotik tükenme, abiyotik tükenme (fosil yakıtlar), küresel ısınma, ozon tabakası tahribatı, insan toksisitesi, tatlı su ekotoksitesite, deniz ekotoksitesite, karasal ekotoksitesite, fotokimyasal oksidasyon, asidifikasyon ve ötrofikasyondur.

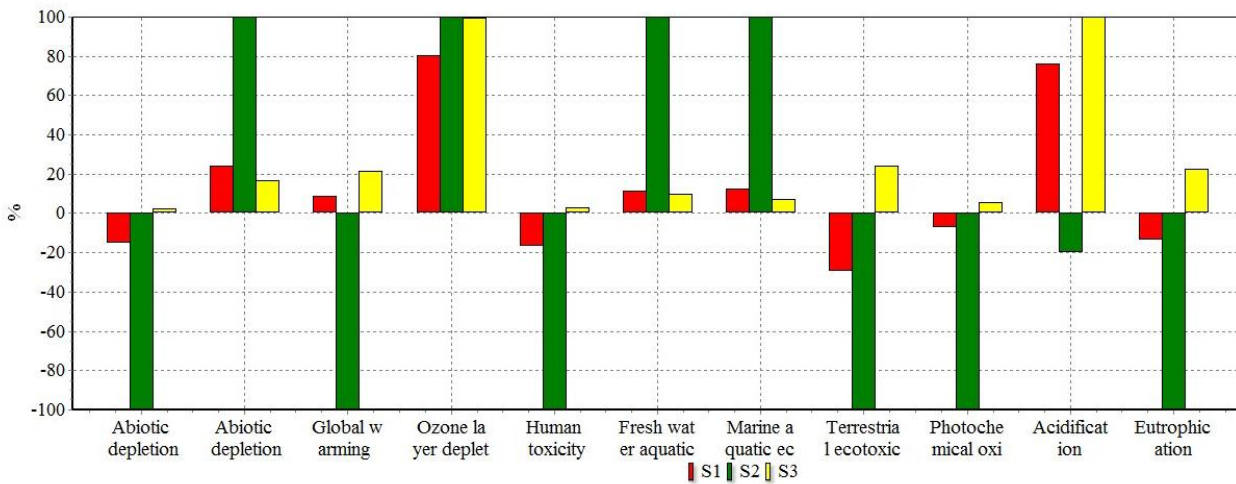
2.4. Yorum (Interpretation)

Bu kısım sonuçların güvenilirliğini ve hassasiyetini kontrol etmek için duyarlılık analizini içermekte

olup, etki değerlendirme yöntemi değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışmada CML-IA yöntemi kullanılırken, duyarlılık analizi için IMPACT 2002 kullanılmıştır.

3. BULGULAR (RESULTS)

Ambalaj atıkları yönetimindeki senaryoların her etki kategorisi için YDA karakterizasyon analizinin sonuçları Şekil 4'de gösterilmiştir. Normalizasyon sonuçları da Tablo 3'de verilmiştir. Etki kategorilerine bakıldığında atıkların ayrılıp, toplanması ve geri dönüştürülmesi sonucu en az çevresel etki Senaryo 2'de gözlenmiştir.



Comparing 1 p 'S1', 1 p 'S2' and 1 p 'S3';
Method: CML-IA baseline V3.01 / World 2000 / Characterization

Şekil 4. Yaşam döngüsü analizi karakterizasyon sonuçları (Life cycle characterization results)

Etki kategorileri küresel, bölgesel ve yerel etkiler olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Küresel etkiler, küresel ısınma, insan toksisitesi, abiyotik tükenme; Bölgesel etkiler, asidifikasyon, insan toksisitesi, abiyotik tükenme; Yerel etkiler, asidifikasyon, ötrofikasyon, fotokimyasal oksidasyon, insan toksisitesi, tatlı su, deniz ve karasal ekotoksitesiteyi içermektedir. Her bir kategoriye ayrı olarak incelediğimizde, CLM-IA etki metodunda abiyotik tüketimin hem minerallere hem de fosil yakıtlara bağlı olduğunu görmekteyiz. İlk kategori mineral/maden rezervleri ile ilgili olup, minerallerin her bir çıkarımı için kg antimon eş değeri/ kg ekstraksiyonu olarak belirlenir [25]. İkincisi ise yenilemeyen fosil yakıtların kullanılması ile ilgilidir ve birimi MJ dur. İlk abiyotik tüketim etki kategorisi için ambalaj atıklarının (kağıt,

metal, cam) geri dönüşüme gönderilmesi ve plastiklerin geri dönüşümü olumlu etkilere sebep olmaktadır. Özellikle metallerin geri dönüşümü bu etki parametresinde önemli bir yere sahiptir. Diğer taraftan taşıma ve elektrik kullanımı nedeni ile fosil yakıtların kullanılması abiyotik tükenmedeki en büyük olumsuz etkidir. Senaryo 1 ve 2'de taşıma kaynaklı tüketimi ekipmanların kullandığı elektrik izlerken Senaryo 2'de elektrik kullanımı en büyük etkiyi vermekte olup yakıt kullanımı elektrik kullanımını takip etmektedir. Abiyotik tüketime bir bütün olarak baktığımızda elektrik tüketimi ve yakıt kullanımı olumsuz etkilere sebep olurken, metallerin ayrıştırılıp geri dönüşüme gönderilmesi ise olumlu etkilere sahiptir. 100 yıllık bir zaman aralığı için (GWP100) küresel ısınma potansiyeli kg karbondioksit/kg emisyonuyla ifade edilmektedir [25]. Küresel

ısınma etki kategorisi, atıkların depolanmasından kaynaklı biyogaz üretimi ve üretilen biyogazın doğrudan atmosfere salınmasından etkilenmektedir. Dolayısı ile depolamaya gidecek atık miktarı azaldıkça bu kategorideki olumsuz etkide azalmaktadır. Depolama ihtiyacının en az olduğu 2. senaryo çevresel açıdan en olumlu senaryodur. Ozon tabakasının incilmesi, ham petrol üretimi, petrol ve doğalgazın bir sonucu olan metan bromotrifloro halon 1301 den kaynaklanır. Bu etki kategorisi için en iyi senaryo 1'dir. Ulaşım da dizel tüketiminden salınan CO₂ emisyonu etkisi oldukça yüksektir. İnsan toksisitesi, insan faaliyetleri sonucu serbest bırakılan kimyasal bileşiklerin emisyonlarından kaynaklanabilecek olan çevre sorunudur ve 1.4 diklorobenzen eşdeğer/kg emisyon olarak ifade edilir. Toksikite salınımları kaynağı taşıma aşamasında oluşan emisyonlar ve toksik bileşenlere sahip atıklardır. Metallerin geri dönüşüme gönderilerek malzeme geri kazanımı bu etkiyi azaltan etmendir. Tatlı su, deniz ve karasal ekotoksositeye 3 senaryoda da uygulanan depolama yöntemi sırasında açığa çıkan nikel, berilyum, kobalt, vanadyum ve bakır gibi birincil kirleticiler neden olur. Ayrıca, elektrik kullanımından kaynaklı baryum, vanadyum gibi kirleticilerde bu etki kategorisine katkıda bulunurlar. Fotokimyasal oksidasyon etki göstergesi hidrojen (tamamen ikame edilmiş) ve çift bağlar (doymamış) içeren uçucu organik bileşikler (VOC) olarak fotokimyasal ozon oluşumuna katkıda bulunma potansiyeline sahip olan maddeleri tanımlar [26]. Depolama biyogaz emisyonuna bağlı olarak fotokimyasal oksidasyon üzerinde en olumsuz etkiye neden olur. Fotokimyasal oksidasyonu etkileyen emisyonlar eksik yanma ürünleri gibi tamamıyla indirgenememiş maddelerdir. Güneşin UV etkisi ile bu emisyonlar daha kalıcı ve toksik türevlere dönüşebilmektedir. Ulaşım ve dizel CO ve SO_x serbest fotokimyasal oksidasyon etkisi yaratır. Elektrik kullanımı da bu etkiye olumsuz neden olmaktadır. Bir kirleticinin asidifikasyon potansiyeli H⁺ iyon oluşturmasıyla ilgili olup kg SO₂ eşdeğeri başına üretilen H⁺ iyonu sayısı olarak tanımlanan asidifikasyonda temel kirleticiler SO₂, NO_x, HCl ve NH₃'tür. Enerji üretimi sırasında ve taşıma sırasında açığa çıkan SO₂ emisyonları ve NO_x emisyonları asidifikasyona sebep olur. Düzenli depolanan atık miktarı fazla olan senaryolar en olumsuz çevresel etkiye sahiptir. Ötrofikasyon, atıklarda bulunan C, N, P gibi

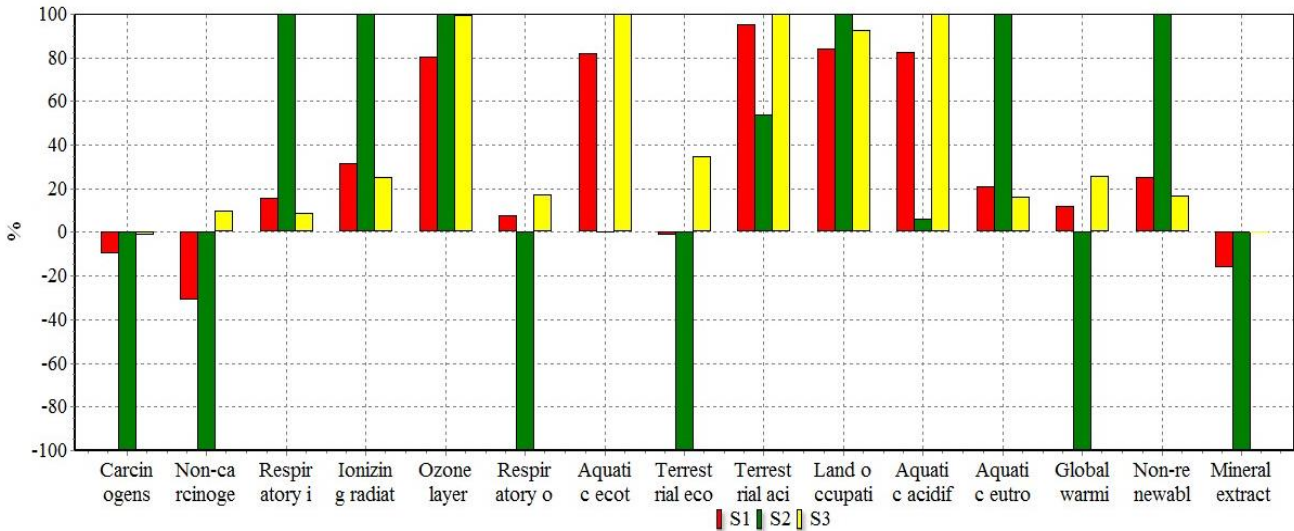
maddelerin yüzeysel sulara karışmasıdır. Hem karasal hem de sucul ortamı etkileyen bir olgudur. Ötrofikasyon potansiyeli genellikle PO₃'ün eşdeğeri olarak ifade edilir. En yüksek ötrofikasyon etkisine, atıkların depolanması sırasında oluşan sızıntı sularından alıcı ortama taşınan besin maddeleridir.

Genellikle nakliye prosesinde yakıt tüketiminden kaynaklı NO_x üretimi en büyük çevresel etkiye sahipken, buna karşın düzenli depolama işleminde havaya ve suya verilen emisyonların daha fazla çevresel öneme sahip olduğu söylenebilir (Özellikle metan için hava emisyonlarında, su emisyonlarında bakır gibi ağır metallerde). Elektrik tüketiminin etkisi, kaynakların tüketiminden kaynaklanmaktadır. Geri kazanımın olan senaryolardan görüldüğü gibi, geri kazanım çevresel etkileri azaltmaktadır. CML-IA yöntemi ile tüm senaryolar karşılaştırıldığında Senaryo 3'ün çevresel etkileri en olumsuz olup, ayırma-toplama ve geri kazanım oranı yüksek senaryonun çevresel etkileri azalttığı gözlenmektedir. Normalizasyon değerleri (Tablo 3) ambalaj atıklarının yönetim alternatifleri için, tatlı su ve deniz ekotoksitesi, ozon tabakası incilmesi ile fosil yakıt kaynaklı abiyotik tüketim en önemli etki kategorileri olduğunu belirtmiştir. Literatürdeki araştırmalarında teyit ettiği gibi [9] ambalaj atıklarının depolanması en kötü atık yönetimidir.

Şekil 5, farklı etki yöntemleri kullanarak yapılan duyarlılık analizi sonuçlarını göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi farklı etki değerlendirmeleri kullanılsa bile sonuçların çevresel etkiler kategorilerinde benzerlik göstererek, duyarlılık analizi sonuçlarımızın güvenilir olduğunu göstermiştir.

Tablo 3. Yaşam döngüsü analizi normalizasyon sonuçları (Life cycle normalization results)

Etki Kategorisi	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Abiyotik tüketim	-4.94 E-13	-3.28 E-12	8.09 E-14
Abiyotik tüketim (fosil yakıtlar)	1.86 E-12	7.70 E-12	1.29 E-12
Küresel ısınma	3.52 E-13	-4.01 E-12	8.68 E-13
Ozon tabakası incelmeye	6.49 E-15	8.07 E-15	8.04 E-15
İnsana toksisite	-1.63 E-11	-9.84 E-11	3.11 E-12
Tatlı su ekotoksitesitesi	3.72 E-12	3.28 E-11	3.18 E-12
Deniz ekotoksitesitesi	1.79 E-10	1.45 E-9	1.03 E-10
Karasal ekotoksitesite	-1.55 E-14	-5.29 E-14	1.29 E-14
Fotokimyasal oksidasyon	-1.94 E-13	-2.78 E-12	1.51 E-13
Asidifikasyon	4.52 E-13	-1.18 E-13	5.95 E-13
Ötrofikasyon	-2.98 E-13	-2.19 E-12	4.99 E-13



Comparing 1 p 'S1', 1 p 'S2' and 1 p 'S3';
Method: IMPACT 2002+ V2.11 / IMPACT 2002+ / Characterization

Şekil 5. Duyarlılık analizi için farklı etki değerlendirmesinin karakterizasyon sonuçları (Characterization results of sensitivity analysis with different impact assessment methods)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Ambalaj atıklarının yönetiminde tercih edilen yöntem kaynağa ayrılması ve ayrı toplanmasıdır. Mutfak atıklarından ayrı olarak evlerden ve iş yerlerinden özel geri dönüşüm poşetlerinde, dış mekanlarda ise geri dönüşüm kumbaralarında biriktirilen ve toplanan kuru ve kirlenmemiş karışık ambalaj atıklarından yüksek kalitede geri dönüşüm elde edilir. Ancak kaynağında ayrı toplama çalışmaları henüz istenilen seviyeye gelmediğinden karışık atık içerisinde toplanıp, ayrıştırılan ve geri dönüştürülebilir oran %10 dur. Geri kalan kısım düzenli depoda bertaraf edilmektedir. Sakarya örneğinde olduğu gibi ülkemiz genelinde kaynağa toplamanın etkin olmaması, denetim ve izleme faaliyetlerinin eksikliği, belediyelerin sürece katılımının etkin olmaması, ekonomik araçların yeterli olmaması, bazı ambalaj türlerinin geri dönüşümünün alt yapısının olmaması dolayısıyla yönetilemeyen

ambalaj atıklarının sadece çevre sağlığı değil çevre sağlığı ile doğru orantılı olarak insan sağlığı üzerine de olumsuz etkileri bulunmaktadır. Örnek yerleşim yeri Serdivan ilçesinin ambalaj atıklarının depolanması için yapılan (Senaryo 3) yaşam döngüsü analizi sonuçları da ozon tabakası tahribatı ve sucul ortamlarda ekotoksik etkilerinin yüksek olması dolayısıyla insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerin olduğunu göstermiştir. Geri kazanımın eklendiği Senaryo 1 ve 2 de ise geri kazanım oranının artması ile olumsuz çevresel etkilerin azaldığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanması esas olup, ayrı toplanmakta zorluk yaşıyorsa bu atıkların evsel atıklardan ayrılmasını sağlayacak ön ayırma tesislerinin belediye çöp depolama sahalarında kurulması ve işletilmesi tercih edilmelidir.

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENTS)

Sakarya Büyükşehir ve Serdivan Belediyelerine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] *Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği*, 28035, 24.08.2011.
- [2] P.N. Pressley, J.W. Levis, A. Damgaard, M.A. Barlaz and J.F. De Carolis, “Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment,” *Waste Management*, vol.35, pp.307-317, 2015.
- [3] S. Nessi, L. Rigamonti and M. Grosso, “Packaging waste prevention activities: A life cycle assessment of the effects on a regional waste management system,” *Waste Management and Research*. vol. 33 (9) pp. 833-849, 2015.
- [4] A.U. Zaman, “Life cycle environmental assessment of municipal solid waste to energy technologies,” *Global Journal of Environmental Research*, vol 3(3), pp.154-163, 2009.
- [5] Q. Song, Z. Wang and J. Li, “Environmental performance of municipal solid waste strategies based on LCA method: a case study of Macau,” *Journal of Cleaner Production*. vol.57, pp.92-100, 2013.
- [6] V. Koci and T. Trecakova, “Mixed municipal waste management in the Czech Republic from the point of view of the LCA method,” *Int J Life Cycle Assess.* vol.16, pp.113-124, 2011.
- [7] H.H. Khoo, T.Z. Lim and R.B.H. Tan, “Food waste conversion options in Singapore: Environmental impacts based on an LCA perspective,” *Science of the Total Environment*. vol.408, pp.1367-73, 2010.
- [8] S. Ferreira, M. Cabral, S. De Jaeger, N.F. Da Cruz, P. Simoes and R.C. Marques, “Life cycle assessment and valuation of packaging waste recycling system in Belgium,” *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 19, pp.144-154, 2017.
- [9] S. Ferreira, M. Cabral, N.F. Da Cruz, P. Simoes and R.C. Marques, “Life cycle assessment of a packaging waste recycling system in Portugal,” *Waste Management*, vol.34, pp.1725-1735, 2014.
- [10] T. Chilton, S. Burnley and S. Nesaratnam, “A life cycle assessment of the closed-loop recycling and thermal recovery of post-consumer PET,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 54, pp. 1241-1249, 2010.
- [11] E. Yıldız-Geyhan, G. Yılan-Çifti, G.A. Altun-Çiftçioğlu and M.A.N. Kadırgan, “Environmental analysis of different packaging waste collection systems for İstanbul-Turkey case study,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 107, pp.27-37, 2016.
- [12] T. Kise, B. Kuru, K. Demirer, B. Bağdatlı, E.B. Siper, T. Tunç, *Sakarya İli Ambalaj Atıkları Toplama, Ayırma ve Plastik Geri Dönüşüm Tesisi Tasarımı ve Maliyet Analizi*, Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2016.
- [13] Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK), Available: <http://www.tuik.gov.tr>.
- [14] Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK), 2014 yılı için Belediye Atık İstatistikleri, No: 18777, Available: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18777>.
- [15] ÇED Raporu, Sakarya Büyükşehir Belediyesi, Entegre Katı Atık Bertaraf Tesisi ÇED Raporu, Duru Çevre Teknolojileri ve Lab. Hiz. Müh. Müş. İnş. Taah. San ve Tic. Ltd. Şti, Ankara 2015.
- [16] A.S. Erses Yay, “Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya,” *Journal of Cleaner Production*, vol.94, pp.284-293, 2015.
- [17] M. Banar, Z. Cokaygil and A. Ozkan, “Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey,” *Waste Management*, vol.29, 54-62, 2009.
- [18] İ. Öztürk, Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları. İSTAÇ A.Ş. Teknik Kitaplar Serisi, İstanbul, Turkey, 2010.
- [19] A.N. Softa “Environmental and Economic Assessment of Management of Plastic Packaging Waste” M.S. thesis, Department of Environmental Engineering, DTU, Denmark, 2013.

- [20] F. Mcdougall, P.White, M. Franke, P. Hindle. Integrated solid waste management: a life cycle inventory. Blackwell Science, 2nd edition, pp. 544, 2003.
- [21] ASD Çevre Teknolojileri, Available: <http://www.asdcevre.com/default.asp?page=urunleric&kategoriID=26&urunID=103>
- [22] Altech Plastik Makine, Available: <http://www.altechmakina.com/en/productio n-products/130-plastic-compression.html>
- [23] Netplasmak Geridönüşüm Makineleri, Available: <http://www.netplasmak.com/tr/aglomer-makinas.html>
- [24] Netplasmak Geridönüşüm Makineleri, Available: <http://www.netplasmak.com/tr/plastik-granul-makinalari.html>
- [25] M. Goedkoop, M, Oele, S.Effting, Simapro Database Manual Methods Library. Pre constultants. Netharlands,2004.
- [26] M.Hauschild, H.Wenzel, Environmental Assessment of Products. Scientific Background. vol.2. Chapman &Hall. UK,1998.