



Bu proje Avrupa Birliği tarafından finanse edilmektedir.

Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları - I

Yaşam Döngüsü Analizi



Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları

REC Türkiye Hakkında

REC Türkiye, siyasi görüşlerden ve çıkar gruplarından bağımsız, kâr amacı gütmeyen, uluslararası bir kuruluş olan Orta ve Doğu Avrupa için Bölgesel Çevre Merkezi'nin (REC) Türkiye'deki ofsidir. REC Türkiye'nin genel amacı, Türkiye'nin çevre konusunda hukuki, kurumsal, teknik ve yatırım alanlarına yönelik kapasitesini güçlendirmek, böylelikle de AB çevre müktesebatının etkili bir şekilde uygulanması sürecini hızlandırmaktır. REC Türkiye, bu hedefe ulaşabilmek için, farklı finansal kaynaklar aracılığı ile yürütmekte olduğu çalışmalar çerçevesinde, hükümetler, sivil toplum kuruluşları (STK'lar), özel sektör ve diğer çevresel paydaşlar arasında işbirliğini, bilgi paylaşımını ve çevresel karar alma süreçlerine halkın katılımını desteklemektedir.

Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları

Bu yayının bütün hakları saklıdır.

Bu yayının basımı yararlanıcısının Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve sözleşme biriminin Merkezi Finans ve İhale Birimi olduğu "Çevre Alanında Kapasite Geliştirme" projesi kapsamında REC Türkiye tarafından Avrupa Komisyonu'nun mali desteği ile gerçekleştirilmiştir. Ancak, yayının içeriği hiçbir şekilde REC Türkiye'nin, Avrupa Komisyonu'nun ya da diğer ilgili kurumların resmi görüşlerini yansıtırarak algılanmamalıdır.

Bu yayının bütün hakları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na aittir ve hiçbir kısmı herhangi bir formda, yayın sahibi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve yayımcı Bölgesel Çevre Merkezinden izin alınmadan satılamaz ya da satılmak için çoğaltılamaz.

©2011, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

ISBN: 978-975-6180-42-6

Yayımcı:

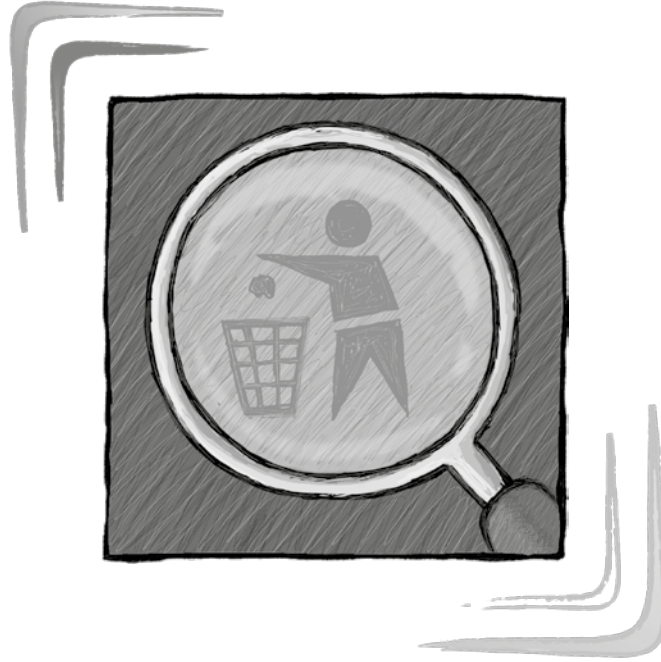
Bölgesel Çevre Merkezi- REC Türkiye
İlkbahar Mahallesi 571. Cadde 617. Sokak No:8 Yıldız-Ankara, Türkiye
Tel: +90 (312) 491 95 30 • Faks :+90 (312) 491 95 40
E-posta: info@rec.org.tr • Web sitesi: www.rec.org.tr

- Yayın koordinatörü: Yeşim Çağlayan • Hazırlayanlar: • Göksel Demirer (Yaşam Döngüsü Analizi) •
 - Nilgün Cılız, Başak Daylan, Gülden Baydar (Temiz Üretim) • Hüdayi Kara (Eko-Etiket) •
- Tuna Özçuhadar (Eko-Tasarım) • Duygu Erten (Yeşil Binalar) • Ferda Ulutaş (Endüstriyel Ekoloji) •
 - Yeşim Çağlayan, Tuğçe Kayaalp, Duygu Toprak (Sürdürülebilirlik için İletişim) •
 - Gülçin Özsoy, Duygu Toprak (Düşük Karbon Teknolojileri) •
- Editör: Yeşim Çağlayan • Redaksiyon: Yeşim Gözde Ersoy • Son okuma: Tuğçe Kayaalp, Duygu Toprak •
 - Kapak çizimi: Özgür Kuvvet • Tasarım: Bayt Ltd. Şti. •

Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları - I

Yaşam Döngüsü Analizi

Pratik Yaşam Döngüsü Analizi Klavuzu
AB Sürecinde İşletmeler ve Kamu için
Yaşam Döngüsü Analizi Yöntem ve Örnekleri



Hazırlayan

Prof. Dr. Göksel N. DEMİRER

İçindekiler

1. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) Nedir?	7
2. Yaşam Döngüsü Analizi'nin Metodolojisi	10
3. Yaşam Döngüsü Analizi'nin Kullanım Alanları.....	29
4. YDA Yaklaşımının Kısıtları	31
5. YDA Alanında Faaliyet Gösteren Uluslararası Aktörler.....	32
6. YDA Çalışmalarında Kullanılan Yazılımlar	35
7. Örnekler	36
8. YDA'nın Geleceği	39
Kaynakça.....	40

Özet

Yaşam Döngüsü Analizi, bir ürün ya da hizmet üretiminde kullanılan ham maddelerin elde edilmesinden başlayarak, ilgili tüm üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve kullanım sonrası atık olarak bertarafı da kapsayan yaşam döngüsünün farklı aşamalarındaki çevresel etkilerini belirlemek, raporlamak ve yönetmek için kullanılan bir yöntemdir.

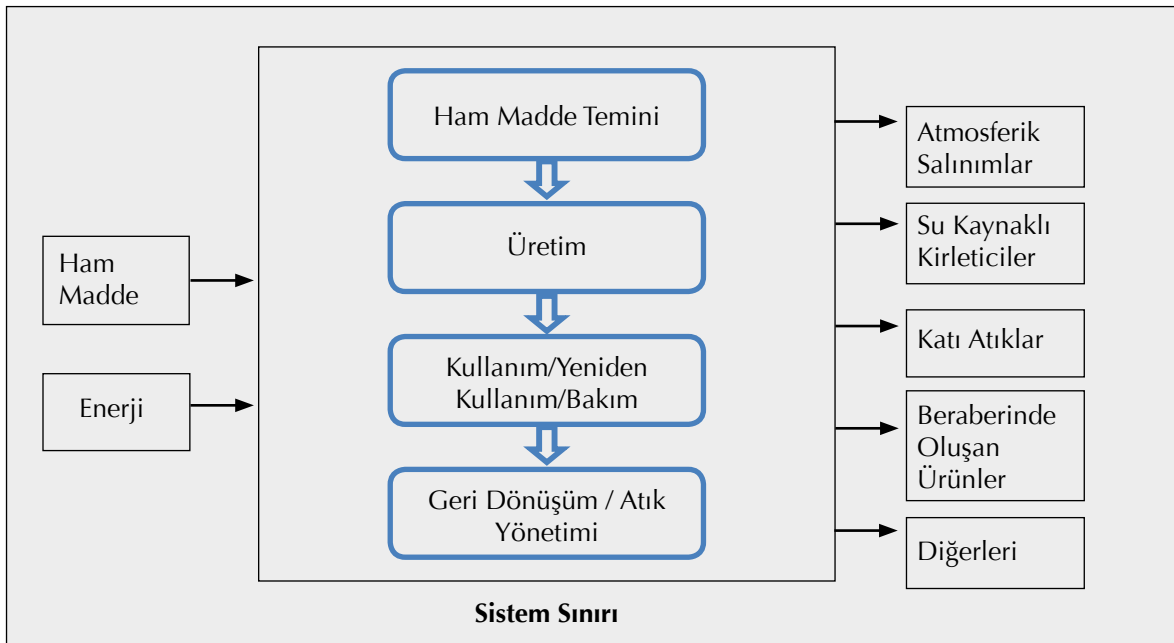
Artan çevre duyarlılığına paralel olarak teknoloji ve yaşam düzeylerindeki gelişmeler sonucunda her tür projenin topluma maliyeti, performansı gibi geleneksel parametrelerin yanı sıra doğal kaynakların kullanımı ve küresel çevre sorunlarına yol açma olasılığı gibi bileşenler de karar verme süreçlerinde gittikçe daha sık göz önünde bulundurulun faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaşam Döngüsü Analizi, 90'lı yılların başından bu yana bu karmaşık karar verme süreçlerinde gittikçe daha sık başvurulun ve sürekli geliştirilen bir yöntemdir.

1. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) Nedir?

Son dönemde çevre ile ilgili konularda toplumsal duyarlılığın artmasıyla birlikte, proje geliştirme ve uygulama süreçlerinde verilen tüm kararların çevresel boyutu daha da önem kazanmıştır. Yükselen çevre duyarlılığına paralel olarak teknoloji ve yaşam düzeylerindeki gelişmeler sonucunda her tür projenin topluma maliyeti, performansı gibi geleneksel parametrelerin yanı sıra doğal kaynakların kullanımı ve küresel çevre sorunlarına yol açma olasılığı gibi bileşenler de karar verme süreçlerinde gittikçe daha sık göz önünde bulundurulmaya başlanmıştır. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) 90'lı yılların başından bu yana karmaşık karar verme süreçlerinde gittikçe daha sık başvuru ve sürekli geliştirilen bir yöntemdir (Guinee ve diğerleri 2011).

YDA yöntemi bir ürün ya da hizmet üretiminde kullanılan hammaddelerin elde edilmesinden başlayarak, ilgili tüm üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve kullanım sonrası atık olarak bertarafı da kapsayan yaşam döngüsünün farklı aşamalarındaki (Şekil 1) çevresel etkilerini belirlemek, raporlamak ve yönetmek için kullanılır. Söz konusu çevresel etkiler iklim değişikliği, stratosferik ozon tabakasındaki incelme, ötrifikasyon, asidifikasyon, toksik emisyonlar gibi doğal kaynak tüketimi bazlarında değerlendirilir.

YDA bir ürün ya da hizmetin tüm yaşam döngülerini ve bunların birbiriyle bağlantılarını bütünsel olarak değerlendirir. Bunun sonucunda değerlendirilmekte olan ürün ya da hizmetin “beşikten mezara” tüm süreçlerinde ortaya çıkabilecek her tür çevresel etki kümülatif olarak ortaya konmuş olur. Geleneksel çevresel etki değerlendirme araçlarında çoğunlukla göz önünde bulundurulmayan hammadde eldesi, sevkiyat ve nihai bertaraf gibi aşamalar da YDA yönteminde değerlendirmeye alınan aşamalar arasında bulunmaktadır.



Şekil 1. YDA'nın aşamaları (USEPA, 2006)

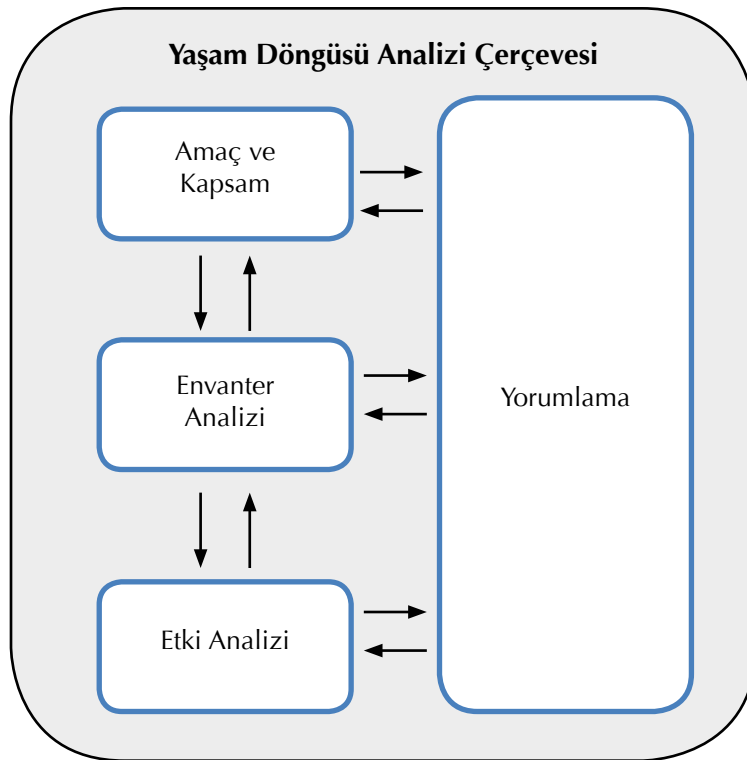
YDA, bir ürün ya da sürecin tüm yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkabilecek çevresel etkileri kapsadığından, değerlendirilen bu çevresel etkileri tüm boyutlarıyla ve kapsamlı olarak yansıtır. YDA ile gerçekleştirilebilen kapsamlı ve bütünsel değerlendirme, söz konusu ürün ya da sürece ilişkin yapılacak olası modifikasyonların yol açacağı çevresel etkilerin farklı senaryolar için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini ve ilgili karar alma süreçlerine yansıtılabilmesini de sağlar. Bir YDA çalışmasında tipik olarak yer alan yaşam döngüleri Şekil 1’de görülebilir.

Dört aşamadan oluşan ve aşağıdaki şekilde özetlenen YDA metodolojisi (Şekil 2) temel olarak:

- Bir ürün ya da hizmet eldesi sürecinde kullanılan enerji, su ve diğer ham maddeler ile doğal kaynakları ve bununla birlikte ortaya çıkan çevresel emisyonların bir envanterinin çıkartılması,
- Bu girdi ve çıktılara bağlantılı olarak meydana gelmesi olası olan çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve
- Sonuçların sistematik ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek, karar vericilere sunulmasını kapsar.

YDA’nın aşamaları şunlardır:

1. Amaç ve Kapsam: Bu aşamada çalışmanın amacı, kapsamı, sınırları ve detaylandırma düzeyi tanımlanır.
2. Envanter Analizi: Bu aşamada çalışılan sistemin kapsamı dahilinde gerçekleşecek enerji, su, ham madde kullanımı ve bunlara bağlı çevresel emisyonlar belirlenir.



Şekil 2. YDA metodolojisi (USEPA, 2006)

3. Etki Analizi: Envanter analizi aşamasında belirlenen enerji, su, ham madde kullanımı ile çevresel emisyonların insan sağlığı ve çevresel değerler üzerindeki olası etkileri değerlendirilir.
4. Yorumlama: Envanter ve etki analizi aşamalarının sonuçları değerlendirilerek karşılaştırılanlar arasından tercih edilecek ürün, süreç ya da hizmet seçilir. Bu seçim esnasında yapılan tahminler ve var olan belirsizlikler YDA kapsamında açık bir şekilde belirtilir.

YDA çalışmaları yaşam döngüsünün hangi aşamasında yapıldığına bağlı olarak “beşikten mezara”, “beşikten kapıya”, “beşikten beşiğe” ve “kapıdan kapıya” olmak üzere gruplandırılabilir. “Beşikten mezara” bir ürün ya da sürecin tüm yaşam döngülerini kapsayan analiz çalışmaları için kullanılan bir tanımlama olup ham madde eldesinden (“beşik”) ortaya çıkan atıkların tasfiyesine (“mezar”) kadar geçilecek tüm süreçleri içine alır. “Beşikten kapıya” bir ürün ya da süreci, ham madde eldesinden (“beşik”) itibaren fabrikaya iletildiği aşamaya (“kapı”) kadar olan süreçleri yani yaşam döngüsünü kısmen kapsar. “Beşikten mezara” yaklaşımının en son yaşam döngüsü olan atık tasfiyesi aşamasında atıkların geri kazanımı söz konusu ise bu “beşikten beşiğe” yaklaşımı olarak anılmaktadır. “Kapıdan kapıya” bir ürün ya da sürecin tek bir aşamasına ait yaşam döngüsünün ele alındığı bir yaklaşımdır (Jimenez-Gonzalez, 2000; http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/en/Life_cycle_assessment).

2. Yaşam Döngüsü Analizi'nin Metodolojisi

2.1 Amaç ve Kapsam Belirleme

Amaç ve Kapsam Belirleme nedir?

YDA çalışmasının ilk aşaması olan Amaç ve Kapsam Belirleme, yapılacak çalışmanın amacını ve yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak olan çevresel etkilerin karar verme sürecine nasıl katılacağına dair yöntemin belirlendiği aşamadır. Karar verme sürecinde katkı sağlayacağına inanılan bilgilerin türleri, katkı sağlayacak sonuçların ne kadar kesin olması gerektiği, sonuçların anlamlı ve kullanılabilir olmasını sağlamak için nasıl yorumlanması ve sunulması gerektiği gibi hususlar bu aşamada netleştirilmelidir.

Hedef Tanımı ve Kapsam Belirleme YDA'yı Nasıl Etkiler?

YDA süreci herhangi bir ürün, süreç veya hizmetten kaynaklanabilecek olası çevresel etkilerin belirlenmesinde kullanılır. YDA'da amaç ve kapsam belirlemek, ne kadar zaman ve kaynağa ihtiyaç duyulacağını ortaya çıkaracağı gibi değerlendirme tamamlandığında en anlamlı sonuçların alınabilmesini sağlayacak şekilde tüm analiz aşamalarına yol gösterecektir. Hedef tanımı ve kapsam belirleme aşamasında alınan her karar, çalışmanın nasıl yönetileceğini ve nihai sonuçların uygunluğunu etkileyecektir. YDA çalışmasının başında alınması gereken kararlar ve bu kararların YDA çalışmasında yaratacağı etkiler aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

Projenin Hedef(ler)inin Tanımlanması

YDA'nın bir ürün, süreç veya hizmetten doğacak toplam (beşikten mezara) çevresel etkileri belirlemek için kullanılan çok amaçlı bir araç olduğunu belirtmiştik. Bu çalışmanın öncelikli amacı insan sağlığına ve çevreye en az etkisi olacak ürün, süreç veya hizmeti seçmektir. Bunun yanı sıra YDA çalışmaları yeni ürün, süreç veya hizmet geliştirme aşamalarında da önemli bir yol gösterici olabilmektedir. Projenin niteliğine bağlı olmak üzere YDA çalışması yürütmenin bunlardan başka da amaçları olabilir. Olası diğer amaçlar aşağıda örneklenmiştir.

- *Çevresel Değerlendirmelerin Desteklenmesi* - YDA sonuçları bir işlem, ürün veya hizmette zaman içinde gerçekleşen değişikliklerin çevre üzerinde yaratacağı yükleri ve olumsuz etkileri anlamak için çok önemlidir. Bir üretim sürecinde veya dağıtım gibi diğer aşamalarda uygulanacak alternatif işlemlerin veya kullanılacak malzemelerin yol açacağı olumlu/olumsuz çevresel etkiler YDA yöntemi kullanılarak nitelik ve nicelik olarak belirlenebilir ve yönetilebilir. Benzeri bir karşılaştırma aynı kullanıma hizmet eden alternatif ürün, süreç ve hizmetler için de gerçekleştirilebilir.
- *Bir Proses İçin Referans Bilgilerin Saptanması* - YDA'nın en önemli uygulamalarından biri de, ürün veya ürünler grubunun üretim, kullanım ve tasfiye süreçlerine ilişkin mevcut veya tahmin edilen uygulama referans bilgilerinin saptanmasıdır. Referans niteliği taşıyan bu bilgiler enerji ve kaynak ihtiyaçlarını ve üründen ya da işlemde kaynaklanabilecek çevresel yükleri içerebilir. Referans bilgiler, var olan proseslerde yapılacak geliştirme çalışmalarına dayanak oluşturması ve/veya karşılaştırma yapılması için kullanılabilir.
- *Bir Sistemde Her Bir Basamak veya Prosese Ait Katkıların Ayrı Ayrı Belirlenmesi* - YDA sonuçları bir sistemdeki her bir basamağın katkı veya etkileriyle ilgili ayrı ayrı detaylı veri

sağlar. Bu veriler hangi basamağın en çok enerji veya kaynak gerektirdiğini veya hangi basamakların en çok kirlletici oluşturacağını göstererek, geliştirme/iyileştirme çalışmaları için yön gösterici olacaktır. Bu özellikle endüstrilerde yapılan kirlilik önleme (temiz üretim), doğal kaynakların korunması, verimlilik artışı gibi çalışmalarda alınacak kararlara temel oluşturması bakımından çok önemlidir.

- *Veri Eksiklerini Ortaya Çıkarır* - Belirli bir sistem için gerçekleştirilen YDA çalışması hangi işlemlerde eksik veri olduğunu veya bu verilerin istenilen kalitede olup olmadığını gösterir.
- *Kamu Politika Oluşturma Süreçlerini Destekler* - YDA, mevzuat oluştururken ve politikaları belirlerken ilgili çevresel boyutların hesaba katılabilmesi için politikacılara bir çerçeve sunar.
- *Ürün Sertifikalandırmasını Destekler* - Ürün sertifikaları genelde sınırlı sayıda kritere bağlı olarak geliştirilir. Ancak uygun etki değerlendirme yöntemi uygulandığında YDA birçok ürünün tek tek ya da karşılaştırmalı olarak pek çok kriter bazında incelenebilmesine olanak sağlar.
- *Karar Vericilere Bilgi Sağlar ve Yön Gösterir* - YDA sanayi, hükümet ve tüketici temsilcilerine alternatif proses, ürün ve malzemeler hakkında bilgi sağlar. İlgili karar verme süreçlerine yansıtılan bu bilgiler, üretim ve tüketim politikalarının çevre ile daha uyumlu olmasına yardımcı olur.
- *Ürün ve Proses Geliştirmede Yol Gösterir* - YDA kaynak gereksinimlerini ve emisyonları azaltmak için yeni ürün, işlem ve faaliyetlerin nasıl geliştirilebileceği konularında sanayicilere yol gösterebilir.

YDA Karar Vericilere Nasıl Yardımcı Olur ?

YDA karar verme süreçlerinde büyük önem taşıyan birçok sorunun cevaplanmasına da yardımcı olur.

YDA çalışmalarının amaç ve kapsamları karar vericilerin ne tür bilgilere ihtiyaç duyduklarına bağlı olarak belirlenmelidir. Aşağıda buna ait bazı örnekler verilmiştir:

- İlgili taraf ve paydaşlara olan etkiler neler olacaktır?
- Hangi ürün veya proses toplamda veya yaşam döngüsünün her bir basamağında en az çevresel etkiye neden olur?
- Mevcut ürün/proseste yapılacak değişiklikler hangi yaşam döngüsü basamağında çevresel etkileri nasıl değiştirir?
- Hangi teknoloji veya prosesler en az miktarda asit yağmuru veya hava kirliliği gibi etkilere neden olur ve doğal çevreye en az hasarı verir?
- Ürün veya prosesler küresel ısınma gibi çevresel etkileri azaltmak için nasıl değiştirilebilir?

Uygun sorular belirlendiğinde sıra bu soruları cevaplayacak bir YDA çalışması için gerekli olan verilerin belirlenmesi ve toplanmasına gelecektir.

Verilerin Organize Edilmesi ve Sunumu

YDA kapsamında değerlendirilecek olan ürün ya da prosesi tanımlamaya yarayacak her bir fonksiyonel birime ait verilerin nasıl organize edileceği belirlenir. YDA sonuçlarının ölçülebilir ve kullanılabilir olabilmesi için büyük önem taşıyan fonksiyonel birimlerin dikkatlice seçilmesi, çalışmanın hassasiyetini ve sonuçların kullanılabilirliğini artıracaktır.

YDA iki veya daha fazla ürünün karşılaştırılmasında kullanıldığında, karşılaştırma temelleri eş-değer olmalı; her bir sistem tüketiciye eşit miktarda ürün veya eşit hizmet ulaştıracak şekilde tanımlanmalıdır. Örneğin kalıp sabun ile sıvı sabun karşılaştırılacaksa, her bir kullanım için harcanan miktarlar karşılaştırılmalıdır. Bir diğer örnekteyse, bazı bebek bezlerinin diğerine göre daha sık değiştirilmesi gerektiğinden, bebek bezlerini karşılaştırırken fonksiyonel birim olarak belli bir zamanda kullanılan toplam bebek bezi sayısı alınmalıdır.

Belli bir ürünün paketlenip taşınması çalışmalarında karşılaştırma yapılırken, bu birimler hacim veya ağırlık temelli belirlenebilir. Örneğin meşrubat konteynırlarını karşılaştırmak için pazara sunulan 1000 litre meşrubat karşılaştırma temeli ya da fonksiyonel birim olarak alınabilir. Bunun nedeni tüketiciye ulaştırılan meşrubatın farklı yaşam döngüsü karakterlerine sahip, farklı büyüklüklerde ve farklı malzemelerden yapılmış konteynırlarda olabileceğidir.

Fonksiyonel Birim Seçimine Bir Örnek

İki farklı duvar yalıtım malzemesini çevresel tercih edilebilirlik açısından karşılaştıran bir YDA çalışmasında aynı fonksiyon temel alınmalıdır. Örneğin söz konusu malzemenin ısı akışını ne kadar azalttığı bu değerlendirme temelinde kullanılabilir. Aynı yüzey alanı ve kalınlığa sahip iki farklı malzeme ısı akışını aynı düzeyde azaltmaz. Bu nedenle de bu değerlendirmede, bu iki malzemenin aynı koşullar için aynı miktarda ısı akışını azaltan miktarları fonksiyonel birim olarak kullanılmalıdır (USEPA, 2006).

Çalışmanın Kapsamının Tanımlanması

YDA bir ürünün veya prosesin yaşam döngüsünün genellikle 4 aşamasını içerir:

1. ham madde temini,
2. imalat,
3. kullanım/yeniden kullanım/bakım ve
4. geri dönüşüm/atık yönetimi.

Bu ürün basamakları aşağıda daha detaylı açıklanmaktadır. Bu basamaklardan hangilerinin YDA çalışmasına dahil edileceğine karar verilirken, çalışmanın amacı, sonuçlarda gerekli olan hassasiyet ile var olan zaman ve kaynak göz önünde bulundurulmalıdır.

Ham Madde Temini

Bir ürünün yaşam döngüsü, üretim için gerekli olan ham madde ve enerjinin temini ile başlar. Ağaçların kesilmesi veya yenilenemeyen doğal kaynakların çıkarılması (madenler) ham madde teminine örnek verilebilir. Bu maddelerin temin edildiği noktadan işleneceği noktaya taşınması da bu basamağa dahil edilebilir veya ayrı bir yaşam döngüsü olarak incelenebilir.

İmalat

İmalat basamağı sırasında, ham maddeler ürün veya paketlemeye iletilir. Ürün veya paket daha sonra tüketiciye ulaştırılır. İmalat basamağı üç ayrı alt basamaktan oluşur: malzeme imalatı, ürün fabrikasyonu ve dolum/paketleme/dağıtım.

Malzeme imalatı Malzeme imalatı basamağı ham maddelerin işlenmiş ürüne dönüşmesi için yapılan faaliyetleri içerir.

Ürün fabrikasyonu Ürün fabrikasyonu ürünün imal edilip, doluma veya paketlenmeye hazır hale getirilmesi basamağıdır.

Dolum/Paketleme/Dağıtım Bu basamak ürünlerin taşınmaya hazır hale getirildiği son basamaktır. Ürünün dolum, paketleme ve dağıtımında gerekli olan tüm imalat ve taşıma faaliyetlerini içerir. Ürünler ya perakende satış noktalarına ya da doğrudan tüketiciye taşınır. Bu basamakta kamyon veya gemi gibi nakliyeden kaynaklanan çevresel etkiler de hesaba katılabilir.

Kullanım/ Yeniden kullanım/ Bakım

Bu basamak tüketicilerin ürünleri kullandıkları, yeniden kullandıkları ve bakım yaptıkları aşamaları içerir. Ürünler tüketiciye ulaştırıldıktan sonra, kullanımlarına ilişkin tüm faaliyetler bu basamağa dahildir. Bunlar ürün saklama ve tüketiminden kaynaklanan enerji ihtiyaçlarını ve oluşan atık ve emisyonları da içerir. Ürünün kullanılabilir kılınması için bakım yapılması, onarılması veya servise götürülmesi gerekebilir. Tüketici ürüne artık ihtiyaç duymadığında ürün ya geri dönüştürülür ya da atılır.

Geri dönüşüm/ Atık Yönetimi

Geri dönüşüm/atık yönetimi basamağı ürün veya malzemenin kullanımı sona erdikten sonra ortaya çıkan enerji gereksinimlerini ve oluşan atıkları/emisyonları içerir.

Ürün, paketleme veya diğer basamaklar, bu yaşam döngüsü basamaklarının sadece birinde kategorize edilebilir. Her bir basamak veya proses toplam ürün sisteminin bir alt basamağı olarak görülebilir. Her bir basamağı bir alt basamak olarak görmek sistemin bütünü için hazırlanan envantere veri sağlamak bakımından kolaylık sağlayacaktır. Alt basamakların sınırları, Yaşam Döngüsü Envanteri Basamağında yaşam döngüsü basamak kategorileri olarak tanımlanmışlardır.

Sistem sınırlarının tanımlanmasında aşağıdaki sorulardan faydalanılabilir:

- Çalışmada ürünün bütün yaşam döngüsünü kapsamaya ihtiyaç duyuluyor mu?
- Ürün veya malzemenin karşılaştırma temeli (ya da fonksiyonel birim) ne olmalı?
- Ürün yapımında veya proseslerinde hangi yardımcı malzemeler veya kimyasallar kullanılmaktadır?
- Bir karşılaştırma analizinde, bir üründen eşdeğer veya benzer performans elde edilmesi için herhangi bir başka ürüne ihtiyaç var mıdır?

Sistem sınırları belirlenirken, çalışmanın sonuçlarını etkileyebilecek her bir basamağın dahil edilmesi oldukça önemliyken, çalışmanın amaç ve kapsamı için gerekli görülmeyen diğer basamaklar kapsama dahil edilmeyebilir. Eğer herhangi bir yaşam döngüsü basamağı karşılaştırılan

tüm alternatifler için aynı ise çalışma kapsamına alınmayabilir. Örneğin, petrokimyasal bir ürün üreten bir firmada gerçekleştirilen alternatif işlem arama sürecinde, eğer son kompozisyon aynı ise ürünlerin kullanım ve atılmasının dikkate alınmasına gerek duyulmayacaktır. Bir diğer örnekte aynı boy ve şekildeki şişeleri karşılaştıran bir YDA çalışmasına şişelerin dolum aşamasının dahil edilmesine gerek olmayacaktır. Ancak, orijinal şişeler farklı boy ve şekillerde ise dolum aşamasının da dahil edilmesi gerekir.

Yaşam döngüsü envanteri için kaynak kısıtlamaları sistem sınırlarının tanımlanmasında hesaba katılmalıdır. Ancak hiçbir durumda çalışmanın bilimsel temeli tehlikeye atılmamalıdır. Envanter çalışması sırasında gerekli olan detay ve hassasiyetin derecesi sistemin boyutuna ve çalışmanın amacına bağlıdır. Birçok endüstriyi barındıran büyük bir sistemde bazı ayrıntılar tanımlanan çalışmaya çok önemli katkı sağlamayabilir. Bu detaylar sonuçların kesinliğini ve uygulamasını etkilemeksizin çıkarılabilir. Ancak çalışmanın odağında, paketlemede kullanılan mürekkep için alternatif malzemeler ve işlemlerin karşılaştırılması varsa, çok küçük miktarlarda da olsa kullanılan tüm kimyasalların çalışmaya dâhil edilmesi gerekecektir.

Her bir sistemin sınırları tanımlandıktan sonra sistemi özetleyen bir sistem akış şeması oluşturulabilir ve yaşam döngüsü envanteri için veri elde etme çalışmalarına geçilebilir. Her bir sistem basamağı, üretimde ihtiyaç duyulan yardımcı girdi veya çıktıları (kimyasallar ve paketleme gibi) gösterecek şekilde, bir şemada detaylı olarak verilmelidir.

2.2. Yaşam Döngüsü Envanteri

Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE) Nedir?

Yaşam Döngüsü Envanteri, bir ürünün, sürecin veya aktivitenin tüm yaşam döngüsü için ham madde ve enerji ihtiyaçlarını, atmosferik emisyonlarını, su yoluyla taşınan emisyonlarını, katı atıklarını ve diğer salımlarını belirleyen bir süreçtir.

Yaşam Döngüsü Envanteri Neden Hazırlanır?

Bir YDA çalışmasının yaşam döngüsü envanteri aşamasında, bütün ilgili veriler toplanır ve organize edilir. YDE olmadan karşılaştırmalı çevresel etkiler veya bunlardaki potansiyel değişiklikler belirlenemez. Toplanan verilerin detayları ve doğruluk düzeyi YDA çalışmasının diğer aşamalarının doğruluğunu ve sonuçların kullanılabilirliğini doğrudan etkiler.

Yaşam döngüsü envanter analizleri çeşitli biçimlerde kullanılabilir. Ürünlerin veya proseslerin karşılaştırılması ve malzeme seçiminde çevresel faktörlerin dikkate alınması buna örnek olarak verilebilir. Bunlara ek olarak envanter analizleri hükümetlere, kaynak kullanımı ve çevresel emisyonlar konusunda politika belirlenmesi ve mevzuat geliştirilmesi için yardımcı olabilir.

YDE sonuçları ne anlama gelir?

Envanter analizi sonucunda, çevreye bırakılan kirleticilerin yanı sıra, harcanan enerji ve malzeme miktarını içeren bir liste oluşturulur. Bu liste yaşam döngüsü aşamaları, ortam (hava, su, toprak), ya da bir proses bazında kategorize edilebilir.

Yaşam Döngüsü Envanterinin Önemli Aşamaları

Yaşam döngüsü envanterinin 4 aşaması vardır:

1. Değerlendirilmekte olan sürecin akış diyagramının oluşturulması
2. Veri toplama planının geliştirilmesi
3. Verilerin toplanması
4. Değerlendirme ve raporlama

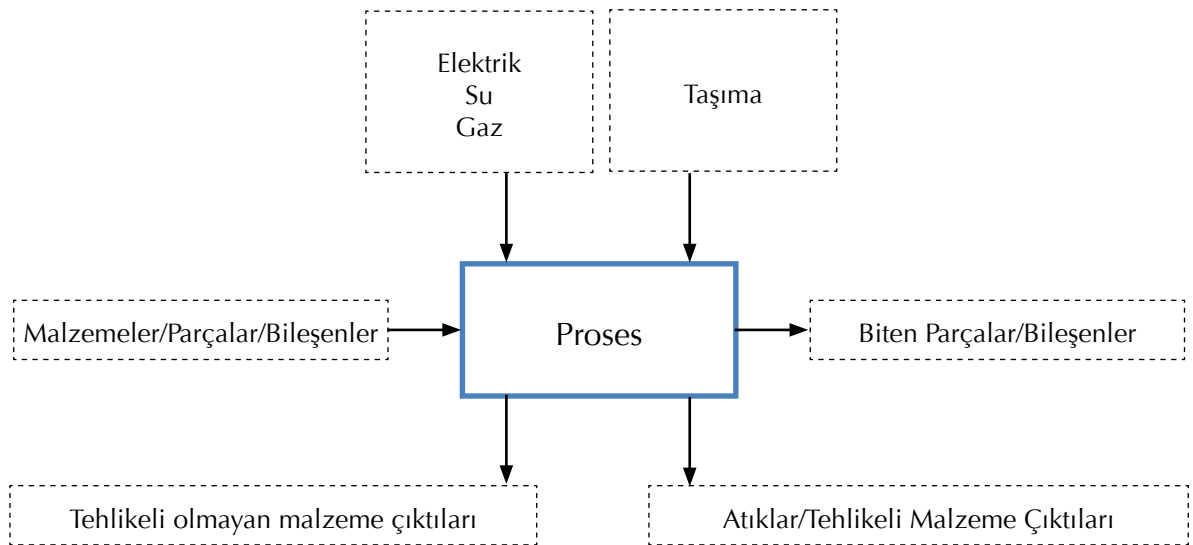
Bu aşamalar aşağıda özetlenmiştir.

Aşama 1: Akış diyagramının geliştirilmesi

Akış diyagramı bir sürecin veya sistemin girdi ve çıktılarını gösteren bir araçtır. Sistem veya sistem sınırları her YDA çalışması için farklılık gösterecektir. YDA çalışmasının sınırları Amaç ve Kapsam belirleme aşamasında ortaya konur. Bu sınır akış diyagramı içinde sistem sınırları olarak kullanılır.

Sistem sınırları içerisindeki prosesler birbiriyle bağlantıları da değerlendirilerek sisteme gerekli tüm girdi ve çıktılarına ait (malzeme ve enerji) tamamlanmış bir yaşam döngüsü resmi ortaya çıkarır. Belli bir sistemin sınırları içinde yer alan çeşitli prosesler için örnek bir akış şeması Şekil 3'te görülmektedir.

Akış diyagramı detaylandıkça sonuçların hassasiyeti artar. Bu aynı zamanda daha fazla veriye gereksinim duyulacağı ve buna bağlı olarak daha fazla zaman ve kaynağın kullanılması gerekeceği anlamına gelir. Akış diyagramları tüm alternatifleri de göz önünde bulundurarak modelleme için kullanılır. Örneğin değerlendirilen temel sistem ve bu sistemin karşılaştırıldığı tüm alternatif sistemler modellemeye dahil edilir. Karşılaştırmalı bir çalışmada, temel ve alternatif olarak belirlenen tüm sistemler için aynı sınırların kullanılması ve aynı seviyede detaylandırılması önemlidir. Eğer bu olmazsa sonuçların doğruluğu riske girer.



Şekil 3. Genel Birim Prosesi (USEPA, 2006)

Veri toplama aşamasında sistemi alt sistemlerin bir bütünü olarak gözlemlemek doğru olur. Bir alt sistem ele alınan üretim sisteminin bir parçası veya tekil aşaması olarak tanımlanır. Sistemdeki bazı aşamaların, veri toplama zorlukları nedeniyle bir alt sistem olarak gruplandırılması gerekebilir.

Her alt sistem için ayrı ayrı malzeme ve enerji girdisi bilgisine ihtiyaç duyulur. Bu aşamalara üretilen ürünün nakliyesi de dahil edilebilir. Ürünlerin, yan ürünlerin, atmosferik emisyonların, suya verilen atıkların, katı atıkların ve olası diğer salımların çıktılarını da içerebilir. Her alt sistem için envanter analisti kullanılan malzeme ve enerji kaynaklarını ve çevresel salımları ayrı ayrı tanımlamalıdır.

Aşama 2: YDE Veri Toplama Planının Yapılması

Gerekli olan verilerin nitelik ve niceliği amaç ve kapsam belirleme aşamasında tanımlanmıştı. Yaşam döngüsü envanterini tamamlamak için verileri toplamaya başlamadan önce, bir YDE veri toplama planı yapılması, verilerin kalitesinin istenilen düzeyde olmasını ve doğruluğunun karar vericilerin beklentileriyle örtüşmesini sağlayacaktır.

Veri toplama planı yapılırken göz önünde bulundurulacak kilit unsurlar şunlardır:

- Veri kalitesi hedeflerini tanımlamak
- Veri kaynaklarını ve türlerini belirlemek
- Veri kalite göstergelerini belirlemek

Veri kalitesi hedeflerini tanımlamak - Veri kalite hedefleri, genel çevre ve insan sağlığı etkisiyle ilgili karar vermek için gereken verilerin kalitesinin, mevcut zaman ve kaynaklar bazında var olan kısıtlarla dengelenmesi için bir çerçeve sağlar. Veri kalite hedefleri genel çalışma hedefleri ile yakından ilintilidir ve iki önemli amaca hizmet eder:

- Analizler için gerekli olan veri kalitesine uygun olarak veri toplanması için YDA uygulayıcılarına yol gösterme,
- Veri kalitesi kistası olarak işlev görme.

Veri Kalitesi Hedeflerine Örnekler

- Ham madde ve enerji girdileri, su tüketimi, hava emisyonları, atık sular ve katı atık üretimi için çalışmanın yapılacağı yöreye özgü veriler gerekir.
- Enerji verisi kategorisi için yaklaşık veri değerleri yeterlidir.
- Hava emisyon verileri çalışılan bölgeyi temsil etmelidir
- YDE'de materyal ve enerji girdilerinin en az yüzde 95'ine sahip olunmalıdır (USEPA, 2006).

Veri kalite göstergelerini belirleme - Veri kalite göstergeleri toplanmış verilerin, kalite gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığını ölçmek için kullanılır. Veri kalitesi hedeflerinde olduğu gibi, bütün YDE'ler için veri kalite göstergelerinin önceden tanımlanmış bir listesi yoktur. Veri kalite göstergelerinin seçimi, hangi verilerin değerlendirilmiş belirli veri kaynakları için daha uygun ve kabul edilebilir olduğuna bağlıdır. Hassaslık, bütünlük, tutarlılık, tekrarlanabilirlik ve temsil edilebilirlik veri kalite göstergelerine örneklerdir.

Veri kaynaklarını ve türlerini belirleme - Her bir yaşam döngüsü aşaması, birim proses veya çevresel salımın türü için çalışmanın hedeflerini karşılamaya yetecek doğruluk ve kalitede olan gerekli veri kaynağını veya çeşidini belirtir. Veri toplamadan önce gereken veri kaynaklarının ve türlerinin tanımlanması, veri toplamada maliyetlerin azaltılması ve zamanın daha etkin kullanılmasını sağlayacaktır.

Aşağıda veri kaynaklarına örnekler verilmiştir:

- Ölçüm ekipmanlarından değer okuma
- Ekipmanların işletim koşullarının tutulduğu defterler
- Endüstri veri raporları, veri tabanları ve danışmanlar
- Laboratuvar test sonuçları
- İlgili kamu ve sektör kuruluşlarından edinilebilecek doküman, rapor, veri tabanı
- İlgili web portalları
- Dergiler, makaleler, kitaplar ve patentler
- Diğer referans kaynaklar
- Ticaret odaları
- Konuyla ilgili daha önce yapılmış yaşam döngüsü envanter çalışmaları
- Ekipman ve proses özellikleri

Aşama 3: Veri Toplama

Veri toplama işlemleri araştırma, saha ziyaretleri veya uzmanlarla yapılan doğrudan temaların bir bileşiminden oluşabilir. Alternatif olarak, mevcut ticari bir YDA yazılım paketi alınabilir. Daha uygun maliyetli olabilecek bu seçeneğin istenilen veri kalitesini ve yerel/bölgesel koşullar için veri sağlayıp sağlamadığı önceden araştırılmalıdır. Veri toplama için gereken zaman ve kaynakları azaltmak için bir diğer yöntem de yöreye özgü olmayan veriler ile çalışmaktır.

Bazı kuruluşlar, yaşam döngüsü envanteri çalışmasında çoğunlukla ihtiyaç duyulan kimi temel verileri içeren veri tabanları geliştirmiş ve kullanıma sunmuştur. Bu veri tabanlarından bazıları YDE veri toplama yazılımları ile birlikte de satılmaktadır. Bu ticari veri tabanlarında yer alan veriler elde edilirken yapılan varsayımlar veya kullanılan yöntemlerin neler olduğuna dair bilgiye çoğu zaman ulaşmak mümkün olmayabilir. Bu da YDA çalışmasında kullanılan verilerin toplanmasına/üretilmesine ilişkin son kullanıcı ile paylaşılması gereken şeffaflığı riske atabilir. YDA çalışmasında elde edilecek sonuçlar belirli bir firma içinde değil de kamu ile paylaşılacaksa bu yöntemi kullanmak uygun olmayabilir. Bu tür verilerin uygun olup olmadığını tanımlamak için hedefin tekrar gözden geçirilmesi gereklidir.

Bütün endüstriyel prosesler birden fazla girdi ve çıktıya sahiptir. Genellikle YDA çalışmaları tek bir ürün ya da proses çıktısı için yapılır. Bu nedenle toplam girdilerin ve üretilen atıkların ne kadarının bu çıktı ile ilgili olduğu belirlenmelidir. Bu yüzden analist her bir eş-ürünün üretimi için ne kadar enerji ve malzeme gerektiğini ve prosesle ilgili çevresel salımların hangi eş-ürünün eldesinden kaynaklandığına karar vermelidir. Buna allokasyon denir.

1 kg etilen üretimine karşılık gelen YDE Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 tek bir ürüne karşılık gelen bir YDE'dir. Bilgisayar gibi çok fazla bileşene sahip bir ürünün yaşam döngüsü ve dolayısıyla YDE'si çok daha karmaşık olacaktır.

Tablo 1. 1 Kg etilen üretimi için yaşam döngüsü envanteri verileri (Rosselot ve Allen, 2001)

Kategori	Girdi veya Çıktı	Birim Ortalama
Enerji, MJ	Kömür	0.94
	Petrol	1.8
	Gaz	6.1
	Hidroelektrik	0.12
	Nükleer	0.32
	Diğer	<0.01
	Toplam	9.2
Ham madde (Enerji bazında), MJ	Kömür	<0.01
	Petrol	31
	Gaz	29
	Toplam	60
Toplam Yakıt + Ham madde		69
Ham madde, mg	Demir	200
	Kireçtaşı	100
	Su	1900000
	Boksit	300
	Sodyum Klorid	5.400
	Kil	20
	Ferromanganez	<1
Hava Emisyonları, mg	Toz	1,000
	Karbon monoksit	600
	Karbondioksit	530000
	Sülfüroksit	4000
	Nitrojenoksit	6000
	Hidrojen sülfüt	10
	Hidrojen klorid	20
	Hidrokarbonlar	7000
	Diğer organikler	1
	Metaller	1
Su Emisyonları, mg	Kimyasal oksijen ihtiyacı	200
	Biyolojik oksijen ihtiyacı	40
	Asit, H+ olarak	60
	Metaller	300
	Klorid iyonlar	50
	Çözülmüş oksijen	20
	Katı maddeler	200
	Yağ	200
	Fenol	1
	Çözülmüş katılar	500
	Diğer nitrojen	10
Katı Atık, mg	Endüstriyel atık	1400
	Mineral atık	8000
	Cürufur ve kül	3000
	Zehirli olmayan kimyasallar	400
	Zehirli kimyasallar	1

Aşama 4: YDE sonuçlarının değerlendirilmesi ve belgelenmesi

Yaşam döngüsü envanterinin sonuçlarını raporlarken, analiz boyunca kullanılan metotları belirtmek oldukça önemlidir. Raporda, analiz edilen sistemler ve belirlenen sınırlar açıkça tanımlanmalıdır. Envanter oluştururken yapılan tüm varsayımlar anlaşılır bir şekilde belirtilmelidir. Sistemler arasında yapılan karşılaştırmaların temeli gösterilmeli ve kullanılan eşdeğer oranlar açıklanmalıdır.

Yaşam döngüsü envanter çalışmaları genellikle daha önce bilinmeyen birçok bilgi üretir. Analist yapılan çalışmanın amacı doğrultusunda bir sunum formatı ve içeriği seçmelidir. Sunum için seçilen format elde edilen bilginin basite indirgenmesine neden olmamalıdır. Sonuçların sunumunda yaşam döngüsü envanteri bilgisini açıklarken farklı bakış açılarını kullanmak faydalı olacaktır. Bu aşamadaki önemli noktalar aşağıda özetlenmiştir.

- Toplam ürün sistemi
- Toplam sistem aşamalarının göreceli katkıları
- Ürün bileşenlerinin toplam sisteme göreceli katkıları
- Her aşama içi ve arasındaki veri kategorileri (kaynak kullanımı, enerji tüketimi ve çevresel salımlar)
- Her bir kategori için veri parametre grupları (hava emisyonları, su emisyonları, katı atıklar)
- Her bir grup için veri parametreleri (sülfür oksitler, karbondioksit, klorin vb.)
- Coğrafi boyut (ulusal, bölgesel, küresel)
- Zamana bağlı değişiklikler

Yaşam döngüsü analisti bu boyutları ne çok basit ne de çok karmaşık olan ancak kapsamlı bir formatta sunmalıdır. Burada tablo (Tablo 1) veya grafiksel ana sunum formatlarından biri seçilebilir.

Bir YDA çalışması kapsamında hangi paketleme malzemesinin kullanılacağını seçmek için bir envanter yaratılıyorsa, veriler her bir seçenek için toplam değer olarak sunulabilir. Diğer taraftan kullanılan paketleme malzemesinin farklı bileşenlerinin toplam çevresel emisyonlara katkısının belirlenmesi gerekiyorsa, sadece toplam sonuçları sunmak yeterli olmayacaktır. Tüm bileşenlerin katkılarını ayrı ayrı belirtmek gerekir. Örnek olarak plastik şişeleri kullanan bir sıvı taşıma sisteminin geliştirilmesine yönelik çalışmada şişenin, kapağın, etiket, şişelerin nakliyesinde kullanılan kutunun veya kutuları kapatmada kullanılan paket bandının toplam sonuçlara olan ayrı ayrı katkısı önemlidir. Yapılan iyileştirmeyi değerlendirirken kullanıcı, ancak bu şekilde her bir bileşenin neden olacağı doğal kaynak kullanımı ve çevresel emisyonları görme şansına sahip olur.

Veri toplandıktan ve belirli bir formatta organize edildikten sonra, sonuçların kesinliği doğrulanmalıdır. Amaçları doğrultusunda yürütülen bir YDA çalışmasının doğruluk düzeyi bu amaçları gerçekleştirmek için yeterli olmalıdır.

Yaşam döngüsü yorumlamasının birinci ve ikinci aşamaları, YDE sonuçlarının ne kadar hassas ve doğru tanımlandığını gösterir. YDA birbirini takip eden süreçlerden oluşur. YDE verilerinin toplanmasında gösterilen hassasiyet, sadece verilerin doğruluğunu sağlamakla kalmaz aynı zamanda harcanan süre ve kaynakların minimumda tutulabilmesini sağlar.

Envanter analizinin sonucu çevreye salınan emisyonların tür ve değerleri ile kullanılan enerji ve malzemeleri içeren bir listedir (Tablo 1).

2.3. Yaşam Döngüsü Etki Analizi

Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDEA) Nedir?

Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDEA) safhasında, YDE sırasında tanımlanan olası çevresel salımların insan sağlığı ve çevresel değerler üzerindeki etkileri değerlendirilir. Etki analizi, insan sağlığı ve çevresel değerlerin yanı sıra doğal kaynak tüketimini de ele alır. Yaşam döngüsü, etki analizi, ürün/proses ve bunun olası çevresel etkileri arasında bir bağlantı kurar. Örneğin, atmosfere salınan 9000 ton karbondioksit veya 5000 ton metan emisyonlarının etkileri nelerdir? Hangisinin etkisi daha büyüktür? Bunların yerel ve küresel çevre sorunlarına etkileri nelerdir?

Eğer bir ürün veya proses sera gazları yayıyorsa, atmosferdeki sera gazlarındaki artış küresel ısınmaya neden olabilir. Doğal bir sucul ortama yüksek düzeyde besiyer madde deşarj edilmesi ötrofikasyona katkıda bulunur. Bir YDEA, bu tür çevresel etkilerin sınıflandırılması ve kategorize edilmesi için sistematik bir prosedür sunar.

YDEA Neden Yapılır?

YDE aşamasında toplanan veriler dikkate alındığında elde edilen envanterin bir proses hakkında birçok bilgi sağladığı görülür. Ancak alternatifler arasında karşılaştırma yapabilmek için YDEA gereklidir. Örneğin atmosfere salınan 9000 ton karbondioksitin ve 5000 ton metanın her ikisinin de zararlı olduğunu bildiğimiz halde, hangisinin daha büyük bir etkiye sahip olduğunu sadece bir YDEA çalışması ile belirleyebiliriz. Bu değerlendirmede bilimsel karakterizasyon faktörleri de kullanarak farklı emisyonlara sahip, dolayısıyla farklı çevre sorunlarına etki edecek faaliyetleri karşılaştırılabiliriz.

Yaşam Döngüsü Etki Analizinin Önemli Aşamaları

Aşağıda yaşam döngüsü etki analizini oluşturan aşamalar verilmiştir:

1. Etki kategorilerinin seçilmesi ve tanımlanması – İlgili çevresel etki kategorilerinin tanımlanması (örneğin, küresel ısınma, asidifikasyon, karasal zehirlilik vb.)
2. Sınıflandırma –YDE sonuçlarının etki kategorileri ile ilintilendirilmesi (örneğin, tüm karbondioksit emisyonlarını, küresel ısınmaya katkılarını gösterecek şekilde sınıflandırma)
3. Karakterizasyon – Bilimsel karakterizasyon faktörleri kullanarak her bir etki kategorisinin modellenmesi (örneğin, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya potansiyel etkilerinin modellenmesi)
4. Normalizasyon: Karşılaştırılabilen potansiyel etkileri açıklamak (örneğin, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya olan etkilerini karşılaştırmak)
5. Gruplandırma – Göstergelerin sınıflandırılması ve sıralanması (örneğin, göstergelerin konuma göre yani yerel, bölgesel ve küresel bazda sınıflandırılması)
6. Ağırlıklandırma – En önemli potansiyel etkileri vurgulama
7. YDEA sonuçlarını değerlendirme ve raporlandırma

ISO (Uluslararası Standardizasyon Kurumu), etki analizi için **Yaşam Döngüsü Etki Analizi ISO 14002** adlı bir standart geliştirmiştir (1998). Buna göre YDEA için zorunlu olan ilk üç aşama şöyle açıklanmıştır: etki kategori seçimi, sınıflandırma ve karakterizasyon. ISO standardında bu üçüne ek olarak veri değerlendirme (aşama 7) aşaması zorunlu kılınmış, diğer aşamalar opsiyonel olarak bırakılmıştır.

Aşama 1: Etki kategorilerinin seçilmesi ve tanımlanması

Bir YDEA'nın ilk aşaması, bütün YDA'nın bir parçası olarak düşünülen etki kategorilerinin seçimidir. Bu aşama, amaç ve kapsam tanımının bir parçası olarak, YDE aşamasındaki veri toplama sürecine yol göstermek için tamamlanmalıdır. Ayrıca veri toplama safhasından sonra tekrar gözden geçirilmelidir.

Bir YDEA için etkiler, bir sistemin girdi ve çıktı akışlarının insan sağlığı, bitkiler, hayvanlar veya doğal kaynakların gelecekte bulunabilirliği üzerinde neden olabileceği sonuçlar olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada genellikle olası etkiler üç ana kategoride ele alınır: insan sağlığı, çevresel emisyonlar ve doğal kaynakların tükenmesi. Tablo 2, YDA çalışmalarında sıklıkla kullanılan etki kategorilerini göstermektedir.

Aşama 2: Sınıflandırma

Sınıflandırmanın amacı YDE sonuçlarını organize ederek, ilgili etki kategorileri ile ilintilendirmektir. Sadece bir etki kategorisinde yer alan YDE kalemleri doğrudan bu etki kategorisinde sınıflandırılır. Örneğin, karbondioksit emisyonları, küresel ısınma kategorisinde sınıflandırılır. İki veya daha fazla etki kategorisinde yer alan YDE kalemlerinin sınıflandırılması için belirli bir yöntem tespit edilmesi gerekir. YDE sonuçlarının çoklu etki kategorilerini belirlemek için iki yol vardır (ISO 1998):

- Etki kategorilerinin içinde yer alan YDE sonuçlarının, etki ettikleri kategorilere paylaştırılması. Bu genellikle etkilerin birbirine bağlı olduğu durumlarda kullanılır.
- YDE sonuçlarının ilintili oldukları tüm etki kategorilerine eklenmesi. Buna genellikle etkilerin birbirinden bağımsız olduğu durumlarda izin verilir.

Örneğin, azot dioksit, hem asidifikasyona hem de yer seviyesi ozon oluşumuna etki ettiğinden ve bu iki etki birbirinden bağımsız olduğundan, azot dioksit emisyonu (%100) her iki etki kategorisine de eklenir. Diğer bir deyişle azot dioksitin tümü hem yer seviyesi ozon oluşumuna (%100) hem de asidifikasyon (%100) etki kategorisine eklenir.

Tablo 2. YDA çalışmalarında sıklıkla kullanılan etki kategorileri (USEPA, 2006)

Etki Kategorisi	Ölçek	YDE Veri Örnekleri (sınıflandırma)	Genel Olası Karakterizasyon Faktörü	Karakterizasyon Faktörünün Açıklaması
Küresel Isınma	Küresel	Karbondiyoksit (CO ₂) Nitrojendioksit (NO ₂) Metan (CH ₄) Kloroflorokarbonlar (CFSc) Hidrokloroflorokarbonlar (HFCFs) Metilbromid (CH ₃ Br)	Küresel ısınma potansiyeli	YDE verisini karbondiyoksit eşdeğerlerine dönüştürür. Not: Küresel ısınma potansiyelleri 50,100 veya 500 yıl olabilir
Stratosferik Ozon Tüketimi	Küresel	Kloroflorokarbonlar (CFSc) Hidrokloroflorokarbonlar (HFCFs) Halonlar Metilbromid (CH ₃ Br)	Ozon tüketimi potansiyeli	YDE verisini trikloroflorometana (CFC-11) eşdeğerlerine dönüştürür.
Asidifikasyon	Bölgesel Yerel	Sülfüroksitler (SO _x) Nitrojen oksitler (NO _x) Hidroklorik asit (HCL) Hidroflorik asit (HF) Amonyak (NH ₄)	Asidifikasyon potansiyeli	YDE verisini hidrojen iyonu eşdeğerlerine dönüştürür.
Ötrofikasyon	Yerel	Fosfat (PO ₄) Nitrojenoksit (NO) Nitrojendioksit (NO ₄) Nitratlar Amonyak (NH ₄)	Ötrofikasyon potansiyeli	YDE verisini fosfat eşdeğerlerine dönüştürür.
Fotokimyasal Sis	Yerel	Metan olmayan hidrokarbon (NMHC)	Fotokimyasal oksidan oluşturma potansiyeli	YDE verisini metan eşdeğerlerine çevirir.
Karasal Zehirlilik	Yerel	Kemirgenlere olan öldürücü konsantrasyonu raporlanmış zehirli kimyasallar	LC ₅₀	LC ₅₀ verisini eşdeğerlere dönüştürür; açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır
Su Zehirliliği	Yerel	Balıkla olan öldürücü konsantrasyonu raporlanmış zehirli kimyasallar	LC ₅₀	LC ₅₀ verisini eşdeğerlere dönüştürür; açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır
İnsan Sağlığı	Küresel Bölgesel Yerel	Havaya, suya ve toprağa yapılan toplam salımlar	LC ₅₀	LC ₅₀ verisini eşdeğerlere dönüştürür; açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır
Kaynak Tüketimi	Küresel Bölgesel Yerel	Kullanılan mineral miktarı Kullanılan fosil yakıt miktarı	Kaynak tüketimi potansiyeli	YDE verisini kullanılan kaynağın miktarına karşın rezervde kalan kaynağın miktarına dönüştürür
Arazi Kullanımı	Küresel Bölgesel Yerel	Diğer arazi değişiklikleri veya düzenli bir depolama sahasının kullanılma miktarı	Arazi durumu	Tahmini bir özkütle kullanarak katı atığın kütle hacme dönüştürür.
Su Kullanımı	Bölgesel Yerel	Su kullanımı veya tüketimi	Su kıtlığı potansiyeli	YDE verisini kullanılan kaynağın miktarına karşın rezervde kalan kaynağın miktarına dönüştürür

Aşama 3: Karakterizasyon

Etki karakterizasyonu aşamasında karakterizasyon faktörleri kullanılarak YDE sonuçları insan sağlığı ve çevresel etkileri temsil eden indikatörlere dönüştürülür. Karakterizasyon faktörleri eşdeğerlik faktörleri olarak da adlandırılır. Karakterizasyon her bir etki kategorisi için YDE so-

nuçlarının doğrudan karşılaştırılmasına olanak sağlar. Diğer bir deyişle, karakterizasyon faktörleri farklı envanter girdilerini doğrudan karşılaştırılabilen etki göstergelerine (indikatörlerine) çevirir. Örneğin, karakterizasyon kurşun, krom ve çinkonun neden olduğu karasal zehirliliğin tahmin edilmesine olanak sağlar.

Etki kategorileri

Küresel Etkiler

Küresel ısınma – kutuplarda erime, toprakta nem kaybı, uzun mevsimler, orman kaybı/ değişimleri ve rüzgâr ve okyanus hareketlerinde değişimler

Ozon tüketmesi – Ultraviyole radyasyonda artış

Doğal kaynaklarda tüketme – Gelecek nesiller için doğal kaynaklarda azalma

Bölgesel Etkiler

Fotokimyasal dumanlı sis – “dumanlı sis”; görüşün azalması, göz tahrişi, solunum sistemi ve akciğer tahrişi ve bitki örtüsüne zarar

Asidifikasyon – korozyon oluşumu, sucul ortamlarda asidifikasyon, bitki örtüsü etkileri ve toprak etkileri

Yerel Etkiler

İnsan sağlığı – Hastalık ve ölüm oranında artış

Karasal zehirlilik – Biyoçeşitlilik ve doğal yaşamda azalma

Sucul zehirlilik – Su bitkilerinde, diğer canlı türlerde, biyo-çeşitlilikte, ticari veya hobi balıkçılıkta azalma

Ötrofikasyon – Besiyer maddelerin (özellikle azot ve fosfor) göller, haliçler ve yavaş hareket eden nehirler gibi sucul ortamlara ulaşarak, aşırı bitki büyümesine ve oksijen tüketimine yol açması.

Arazi kullanımı – Doğal yaşam için gerekli olan karasal yaşam alanı kaybı ve düzenli depolama alanında azalma

Su kullanımı – Mevcut yüzey ve yer altı su kaynaklarında azalma (USEPA, 2006)

Etki göstergeleri genellikle aşağıdaki formül kullanılarak karakterize edilir.

Envanter Verisi * Karakterizasyon Faktörü = Etki Göstergesi

Örneğin, bir sistemde salgılanan bütün sera gazları, bunlara ait envanter sonuçlarının karbondioksit karakterizasyon faktörleriyle çarpılması ile karbondioksit eşdeğeri cinsinden ifade edilebilir. Daha sonra aynı birime (karbondioksit eşdeğeri) dönüştürülmüş olan etki göstergeleri toplanarak var olan toplam küresel ısınma potansiyeli hesaplanır.

Karakterizasyon, farklı miktarlardaki bir grup kimyasalı aynı birime dönüştürerek, her bir kimyasalın küresel ısınmaya olan etkisini ayrı ayrı belirleme ve diğer kimyasallar ile karşılaştırma olanağı sağlar. Örneğin yapılan hesaplamalar, 5 kg metanın küresel ısınmaya 10 kg kloroformdan daha büyük bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Küresel Isınma Etkilerinin Karakterizasyonu

Aşağıdaki hesaplama, belirli miktardaki sera gazlarının küresel ısınma potansiyellerini (GWP) tahmin edebilmek üzere, karakterizasyon faktörlerinin nasıl kullanılacağını göstermektedir.

Kloroform GWP Faktör değeri* = 9	Miktar: 10 kg
Metan GWP Faktör değeri* = 21	Miktar: 5 kg

Kloroform GWP Etkisi = 10 kg x 9 = 90
Metan GWP Etkisi = 5 kg x 21 = 105

*Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Modeli (USEPA, 2006)

Etki karakterizasyonu işleminde kilit nokta, uygun karakterizasyon faktörünün kullanılmasıdır. Küresel ısınma ve ozon tüketimi gibi bazı etki kategorilerinin hesaplanması için hangi karakterizasyon faktörlerinin kullanılacağına dair farklı paydaşlar arasında bir fikir birliği vardır. Ancak kaynak tüketimi gibi diğer bazı etki kategorileri için bir fikir birliği hala tam olarak oluşturulamamıştır. Tablo 2 çeşitli etki kategorileri için kullanılabilecek karakterizasyon faktörlerini göstermektedir.

Aşama 4: Normalizasyon

Normalizasyon, etki göstergelerinin farklı etki kategorileri arasında karşılaştırılabilmesini sağlayan bir YDEA aracıdır. Bunun yapılabilmesi için etki göstergeleri seçilmiş referans değerlere bölünerek normalize edilir.

Referans değeri seçiminin, aşağıdaki örnekler de dahil, pek çok metodu vardır:

- Belli bir alan (küresel, bölgesel ve yerel) için söz konusu olan tüm emisyon veya kaynak kullanımı
- Belli bir alan için kişi başına söz konusu olan tüm emisyon veya kaynak kullanımı
- Bir alternatifin diğerine oranı
- Bütün seçenekler arasındaki en yüksek değer

YDA'nın amaç ve kapsam belirleme bölümü kullanılacak uygun bir referans değerinin seçimini de etkileyebilir. Normalize edilmiş verilerin sadece bir etki kategorisi için karşılaştırılabileceği unutulmamalıdır. Örneğin karakterizasyon faktörleri farklı bilimsel metotlar kullanılarak hesaplandığı için asidifikasyon ile sucul ortamlardaki zehirliliğin etkileri birbirleri ile doğrudan karşılaştırılmaz.

Aşama 5: Gruplandırma

Etki kategorileri, elde edilen sonuçları belirli ilgi alanları için daha iyi yorumlayabilmek üzere bir veya daha çok başlıkta gruplandırılır. Genellikle, gruplandırma sınıflandırma veya sıralama göstergelerini içerir. Aşağıdakiler YDEA verilerini gruplandırmak için iki olası yoldur (ISO 1998):

- Göstergelerin özelliklerine (örneğin, hava ve su emisyonları) veya lokasyonlarına (örneğin; yerel, bölgesel ve küresel) göre sınıflandırılması
- Göstergelerin bir öncelik sistemine göre (örneğin, düşük, orta veya yüksek öncelikli) sınıflandırılması. Yapılacak sınıflandırma sınıflandırmayı yapan kişi/kurumun tercihlerini yansıtabilir.

Aşama 6: Ağırlıklandırma

Bir YDEA'nın ağırlıklandırma (ya da değerlendirme) aşamasında, farklı etki kategorilerine atılan önem ya da konuyla ilintilerine bağlı olarak ağırlık ya da göreceli değerler verilir. Etki kategorilerinin aynı zamanda çalışmanın hedeflerini ve paydaşların değerlerini de yansıtmaları gerektiği için ağırlıklandırılmaları önemlidir. Örnek olarak aynı miktar hava kirleticisi, hava kalitesinin daha düşük olduğu bir bölgede, daha yüksek olduğu bir bölgeye göre daha fazla endişe verici olabilir. Ağırlıklandırma, standart bir bilimsel süreç olmadığından, kullanılan ağırlıklandırma metodunun anlaşılır biçimde açıklanması ve raporlanması önem taşımaktadır.

Ağırlıklandırma YDA çalışmalarında yaygın olarak kullanılmasına rağmen, etki analizi aşamalarının en az gelişmiş olanı ve en fazla tartışılanıdır. Genellikle ağırlıklandırma aşağıdaki etkinlikleri içerir:

- Paydaşların temel değerlerinin tanımlanması
- Etkilere verilecek ağırlıklarının belirlenmesi
- Belirlenen ağırlıkların etki göstergelerine uygulanması.

Kullanılan ağırlıklandırma yönteminin net olarak anlaşılabilmesi için YDA raporunda ağırlıklandırılmış veriler ham verilerle birlikte sunulmalıdır.

YDA çalışması kapsamında değerlendirilen bir alternatif, seçilen her bir etki kategorisi için diğer alternatiflerden daha az doğal kaynak kullanıyor ve daha az çevresel emisyon üretiyorsa, ağırlıklandırma aşamasına gerek yoktur. Çünkü bu durumda ağırlıklandırma aşamasında kullanılacak değerlerden bağımsız olmak üzere, bu alternatif hep diğerlerinden daha üstün bir performans sergileyecektir. Diğer bir deyişle, bu gibi durumlarda karar aşaması ağırlık verme aşaması olmadan da yapılabilecektir.

Ağırlıklandırma aşamasına belirsizlik katan pek çok parametre vardır. Verilen ağırlıkların göreceli olması bunların başında gelmektedir. ISO 14042'ye göre bir etki kategorisinin diğerine göre önemini belirlemede kullanılan ve tercih yapılmasını gerektiren bir değerlendirme yöntemi ile elde edilen sonuçlar göreceli olduğundan zamana ve lokasyona bağlı olarak değişebilecektir (ISO, 1998). Her yerde ve herkes için kabul edilebilir bir ağırlıklandırma yöntemi geliştirmek mümkün değildir. Ancak, ağırlıklandırma için geliştirilmiş ve ilgili karar verme süreçlerinde başarı ile kullanılan çeşitli yaklaşımlar (Analitik Hiyerarşi, Delhi Tekniği ve Çok-Özellik Teorisi Kullanılan Karar Analizi) bulunmaktadır.

Aşama 7: YDEA sonuçlarını değerlendirme ve raporlandırma

Seçilmiş her kategori için etki potansiyellerinin hesaplandığı bu aşamada, sonuçların doğruluğu kanıtlanmalıdır. Verilerin doğruluğu ve hassasiyeti, YDA çalışmasının amaç ve kapsam bölümü ile uyumlu olmalıdır. YDEA sonuçları belgelenirken, analizlerde kullanılan metot detaylı olarak tanımlanmalı, çalışılan sistem seçilen sınırlarıyla birlikte tarif edilmeli ve kullanılan tüm varsayımlar belgeye eklenmelidir.

Diğer bütün analiz araçları gibi YDEA'nın da çeşitli kısıtlamaları vardır. Sistematik bir prosedüre sahip olsa da, YDEA çeşitli varsayımlar, sadeleştirmeler ve yapılan tercihlere bağlı olası öznellikler içerir.

2.4. Yaşam Döngüsü Yorumlama

Yaşam Döngüsü Yorumlama Nedir ?

Yaşam döngüsü analizinin yorumlama aşamasında YDE ve YDEA aşamalarında elde edilen sonuçlar uygun tekniklerin yardımıyla değerlendirilir. YDA'nın son aşaması olan yorumlamanın amacı ISO tarafından şu şekilde tanımlanmıştır:

1. Önceki aşamalarda elde edilen bulguların değerlendirilmesi, sonuçların belirlenmesi, kısıtların tanımlanması, önerilerin yapılması ve YDA çalışması sonuçlarının şeffaf bir biçimde raporlanması
2. YDA çalışmasının sonuçlarının amaç ve kapsam bölümü ile uyumlu olarak, kolay anlaşılabilir, eksiksiz ve tutarlı bir şekilde sunulması (ISO 1998b; ISO 2000b).

Alternatif Yaklaşımların Karşılaştırılması

YDA'da alternatiflerin karşılaştırılması karmaşık bir süreçtir. Bunun en büyük nedeni, YDE ve YDEA aşamaları esnasında yapılan varsayımların, kişiye/kuruma ve ilgi grubundaki paydaşlara göre değişebilen tercihe dayalı seçimler olmasıdır. Verilerden ulaşılan sonuçları tüm kullanıcıların bütünsel ve açık olarak değerlendirebilmesi için tüm bunlar, çalışmanın sonunda raporlanmalıdır. Diğer bir deyişle yapılan varsayımlar, kullanılan tercihler gibi faktörlerin elde edilen bulguları ve çalışmanın sonuçlarını nasıl etkilediği net bir şekilde belirtilmelidir.

Sonuçların çok net olmadığı durumlarda alternatiflerin karşılaştırılması mümkün olmayabilir. Bu yapılan çalışmaların boşa gittiği şeklinde yorumlanmamalıdır; aksine, karar verme aşamasının daha da önem kazandığının bir göstergesidir. Bu noktada YDA çalışmasının ortaya koyduğu söz konusu aktivitenin çevreye ve insan sağlığına olası etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekliliğini gösterir. YDEA aşamasında karşılaştırmalı olarak raporlanan, her bir alternatifin diğerlerine göre neden olduğu doğal kaynak kullanımı ve yarattığı çevresel ve insan sağlığına etkileri, karar aşamasında kullanılabilecek önemli bilgilerdir.

YDA Sonuçları ile Karar Verme

YDA ürün veya sürecin çevreye ve insan sağlığına getirdiği etkilerin değerlendirmesini tüm de-

talarıyla ve kapsamlı olarak yapar. Elde edilen tüm bilgiler karar vericilerin kullanabilmesi için düzenlenir. Ortaya konan bilgiler özgündür ve elde edilen sonuçlar da önceki aşamalardan damıtılarak getirilmiş somut verilere dayanır. YDA söz konusu ürün veya sürecin teknik performansını, ekonomik analizini, toplum tarafından kabul edilebilir olup olmadığını araştırmadığı için seçilen alternatifin bu açılardan değerlendirilmesi farklı çalışmalar kanalıyla yapılmalıdır.

YDA Sonuçlarının Yorumlanması

İlgili ISO standardına göre YDA sonuçları aşağıda özetlenen üç aşamada yorumlanır (ISO, 1998b; ISO 2000b):

1. Önemli ve kritik sonuçların YDE ve YDEA aşamaları ile bağlantılı olarak tanımlanması
 2. Çalışmanın eksiksiz olarak gerçekleştirildiği, başlangıç hipotezleriyle sonuçların tutarlı olduğu ve hassasiyet analizlerinin gerekli görülen her aşamada yapıldığının, genel değerlendirme ile gösterilmesi
 3. Ana sonuçların ve önerilerin açık bir dille anlatılması
1. **Önemli Konu/Sonuçların Tanımlanması:** Analizi yapılan her ürün, proses ve hizmet için gerçekleştirilen YDE ve YDEA çalışmalarına girdi sağlayan başlıca veri grupları ve bu verilerin elde edildiği YDA aşamaları, yorumlama aşamasındaki önemli noktalar ve konuların belirlenmesine yardımcı olur. Önemli konular belirlenirken YDA'nın bütününe bakılmalı ve çalışmanın doğal hiyerarşisi göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun yanı sıra konular belirlenirken kullanılan verilerin doğruluğu, tutarlılığı ve hassasiyeti de değerlendirilmelidir. Karar verme aşaması için önem taşıyan konuların vurgulanması, özellikle alternatiflerin değerlendirilmesi aşaması için oldukça faydalı olacaktır. YDA çalışmalarında karar aşaması için önem taşıyan başlıca konular arasında enerji kullanımı, atık oluşumu, emisyon miktarları, kaynak kullanımı ve bu kullanım sonucu oluşan çevresel etkiler yer almaktadır.
 2. **Veri Tutarlılığı ve Hassasiyetinin Değerlendirilmesi:** YDA'nın yorumlama aşamasında kullanılan verilerin eksiksiz ve tutarlı olduğu ve hassasiyet analizlerinin yapıldığı kontrol edilmelidir. Veri hassasiyetinin kontrolü yapılırken, sonuçları en fazla etkileyen veriler tespit edilmeli ve bu veri değerlerinde yapılacak değişikliğin sonuçları ne şekilde etkileyeceği araştırılmalıdır. Tutarlılık analizi yapılırken de verilerin çalışma ile ilintisi bir kez daha gözden geçirilmelidir. Verilerin elde edilmesindeki tutarlılık, ölçüm teknikleri, hesaplama yöntemleri ve yapılan ön kabullerin gözden geçirilmesi ile kontrol edilebilir.
 3. **Sonuç ve Önerilerin Oluşturulması:** Yorumlama aşamasının en kritik basamağıdır. Bu aşamada analiz yapılan ürün, işlem veya hizmetin alternatifleri arasından çevreye ve insan sağlığına en az yükü getiren ve en az olumsuz etkiye sahip olanı belirlenir. YDA'nın amaç ve kapsamına bağlı olmak üzere yapılan etki değerlendirme çalışmasının sonuçları her bir etki kategorisi için normalize edilmemiş ve ağırlıklandırılmamış göstergeler olabileceği gibi normalize edilmiş, gruplandırılmış ve her alternatifin ağırlıklandırıldığı formatta da sunulabilir.

Puanlandırmanın yapıldığı durumlarda çoğunlukla en düşük puanı alan alternatif tercih edilir. Ancak kimi durumlarda puanın daha da düşürülüp düşürülemeyeceği hakkında yeni bir çalışmanın yapılması önerilebilir.

Çalışmanın sonuçları ve yapılacak önerilerin gerçek bilgi ve verilere dayandırılarak oluşturulması gerekir. Bu kapsamda çalışmada belirsiz olan noktalar ve bulgular açık bir şekilde paydaşlarla değerlendirilmelidir. Bazı durumlarda bulguların veya verilerin içerdiği belirsizlikler veya kısıtlamalar nedeniyle YDA hangi ürünün veya üretim sürecinin daha iyi olduğunu belirleyemez. Güvenilir veri sıkıntısı, veri elde etmede güçlükler nedeniyle yapılan ön kabullerin çokluğu, çalışma için ayrılan zamanın yetersizliği veya kullanılan kaynakların sınırlı olması YDA'nın tamamen somut sonuçlara ulaşmasına engel olsa da, bu tür durumlarda ortaya çıkan YDA sonuçları yine de karar vericiler için özellikle alternatif karşılaştırması yapmak için yardımcı olabilir.

Sonuç Raporunun Hazırlanması

YDA çalışması tamamlandıktan sonra elde edilen sonuçların anlaşılabilir bir şekilde ifade edildiği bir sonuç raporu hazırlanır. Bu rapor çalışmanın tümünü (çalışmanın organizasyonu, izlenen yöntemler, toplanan veriler, ön kabuller, sonuçlar gibi) yansıtmalı ve karar vericilerin, konuyla ilgilenen tüm paydaşların ve okuyucuların kullanacağı rehber kitap niteliğinde olmalıdır.

Bir sonuç raporunun içeriği genel olarak aşağıdaki bölümleri kapsamalıdır (ISO 1997; ISO 2001):

1. İdari Bilgiler
 - a. YDA çalışmanı yapan proje ekibinin tanıtımı
 - b. Raporlama tarihi
 - c. İletişim bilgileri
2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı
3. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (veri toplama ve hesaplamalar)
4. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Çalışması (yöntem, etki değerlendirme çalışması sonuçları)
5. Yorumlama
 - a. Sonuçlar
 - b. Ön kabuller ve çalışmanın sınırları
 - c. Veri kalitesini değerlendirme
6. Hakemler Tarafından Değerlendirme
 - a. Hakemlerin ismi ve iletişim bilgileri
 - b. Değerlendirme raporu
 - c. Önerilere verilen cevaplar (USEPA, 2006).

3. Yaşam Döngüsü Analizi'nin Kullanım Alanları

YDA'nın başlıca kullanım alanları şöyle özetlenebilir:

- Belirli bir ürünle ilgili problemlerin analiz edilmesi,
- Ürün geliştirmesi için yapılacak bir çalışmayı etkileyen önemli parametrelerin belirlenmesi,
- Yeni ürün tasarımı,
- Birbirleri ile benzeşen ürünler, prosesler ve hizmetler arasında seçim yapılması.

YDA kullanıcıları ile yapılan bir anketin sonuçlarına göre YDA'nın başlıca kullanım alanları arasında iş geliştirme stratejileri (%18), araştırma ve geliştirme (%18), ürün ya da süreç tasarımı (%15) ve eko-etiket ya da ürün deklarasyonları (%11) yer almıştır (Cooper ve Fava, 2006).

YDA'nın özellikle kullanıldığı alanlarından birisi de gerek kamu gerek özel sektörde görülen yeşil satın alma uygulamalarıdır. Bu tür satın alma uygulamalarının doğal kaynak kullanımı ve çevresel etkiler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilebilmesi, var olan alternatiflere yönelik bir YDA çalışması yapılması ile mümkün olabilmektedir.

Eko-etiketler (çevreye dost ürünlerin belgelendirildiği, üzerlerine bunu gösterir etiketler) tüketicilerin satın alacakları ürünleri tercih ederken, doğal kaynak kullanımı ve çevresel etkileri göz önünde bulundurabilmelerine imkan tanımaktadır. Bu etiketleme de yine YDA yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Almanya'da kullanılan "Blue Angel" ve İskandinav ülkelerinde kullanılan "Green Swan" uygulamaları buna örnek olarak verilebilir.

Çevreyle duyarlı ürün tasarımı ya da diğer adıyla eko-tasarım, YDA'nın bir diğer uygulama alanıdır. Eko-tasarım çalışmalarında YDA genellikle geliştirilmesi düşünülen ürün ya da ürün bileşenleri için firma içinde kullanılır.

MTBE (Metil üçüncül bütül eter) kirletici emisyonlarını azaltmak, oktan seviyesini artırmak ve daha iyi yanmayı sağlamak için benzine eklenen bir katkı maddesidir. Benzine MTBE eklenmesi ozon ön maddelerini yüzde 15, benzen emisyonlarını yüzde 50 ve CO emisyonlarını yüzde 11 azaltır. MBE hava kirliliğinin azaltılmasına yardım ederken, MTBE eğer tam olarak yanmazsa toksik özelliği nedeniyle hava kirliliği sorunlarına yol açar. Ayrıca depolama tanklarından sızarak yeraltı sularını da kirletebilir.

MTBE'nin toksik ve kirletici özelliği değerlendirilirken, kullanımı boyunca motorlu bir aracın hava emisyonlarını önemli ölçüde azaltan bir katkı maddesi olduğu gerçeğinin göz önünde bulundurulduğu yaşam döngüsü perspektifi ile değil de tek başına değerlendirilmesi yapılacak yorumlar, alınacak kararlar ve önlemlerin eksik kalmasına neden olacaktır (UNEP, 2004).

YDA, ürünlere ve süreçlere ilişkin yukarıda özetlenen alanlarda doğrudan kullanılabileceği gibi, daha genel yaklaşımlı çalışmalar için de kullanılabilir. Ürün ve hizmet eldesi süreçlerinin tasarımı, iyileştirilmesi, optimizasyonu gibi iş geliştirme stratejileri, üretim ve tüketim alanlarındaki kamu

politikalarının geliştirilmesi bu kapsamda değerlendirilebilir. Aşağıda bu tür kullanımlara örnekler verilmiştir:

- Çeşitli paketleme alternatiflerinin Avrupa Birliği'nin Paketleme Direktifi'ne uygunluğunun değerlendirilmesi,
- Belediyelerin farklı atık yönetimi yaklaşımlarını değerlendirerek, kendilerine uygun olanı seçmeleri,
- Farklı biyokütle çeşitlerinin belli bir kullanım için (örneğin elektrik eldesi) karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek, çevresel avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesi,
- Yapılacak bir kamusal yatırıma yönelik kararın verilebilmesi için alternatifler arasında stratejik karşılaştırma yapılması. Örneğin belli bölge veya sektöre ait ürün sevkiyatı için çeşitli nakliye yöntemlerinin (karayolu, demiryolu, denizyolu) değerlendirilmesi.
- İnşaat sektörünün çevre ile uyumlu hale getirilmesi. Örneğin Hollanda'da yeni yapılacak binalarda kullanılacak malzemelerin sadece enerji verimliliği bazında değil, çevresel emisyonlar için de belirli standartlara uygun olduğu YDA çalışmaları ile gösterilmek zorundadır (Handbook on Life Cycle Assessment, 2004).

4. YDA Yaklaşımının Kısıtları

YDA'nın en avantajlı yanı olan ve farklı yaşam döngülerini kapsayan bütünsel yapısı, bu tür bir yaklaşımın gerektirdiği yoğun veri gereksinimi bazında değerlendirildiğinde aynı zamanda bir dezavantaj olarak da görülebilir. Bu çerçevede bir ürün ya da sürecin tüm yaşam döngüleri için incelenmesi sadece belirli sadeleştirmeler yapılması ile olası hale gelir.

YDA yerel çevresel etkilerin belirlenmesi için uygun bir araç değildir. YDA kapsamında çevresel etkiler, değerlendirilen ürün ya da sürecin yaşam döngüleri, sistem sınırları ve fonksiyonel birim ve belirli etki kategorileri için belirlenebilir. Ayrıca YDA çalışması dinamik değil kararlı durumlardaki sistemler için uygulanır. Diğer bir deyişle zamana karşı önemli değişim içinde olan sistemler bir YDA çalışmasına tabi tutulamaz.

YDA ürün ve süreçlerin çevresel yönleri ile ilgilenir. Ekonomik veya toplumsal nitelikleri ile ilgili herhangi bir çıktı üretmez. Söz konusu çevresel etkilerin zaman ve mekan boyutu belirlenmediği için mutlak değil "potansiyel etkiler" olarak belirtilir.

YDA yönteminde pek çok tercih ve varsayım kullanılır. Çoğu zaman kaçınılmaz olarak başvuru bu tercih ve varsayımlar, konuyla ilgili ISO metodu (1997, 1998, 1998b, 2000, 2000b, 2001) çerçevesinde mümkün olduğunca şeffaf ve izlenebilir olmalıdır.

Yukarıdaki bölümlerde de belirtildiği gibi en önemli kısıtlardan birisi olan veri eksikliğinin giderilmesine yönelik olarak birçok ülkede YDA veri tabanları oluşturulmakta ve standart bir formata oturtulmaya çalışılmaktadır. Tüm bunların yanı sıra bir YDA çalışması için gereken tüm verilerin elde edilmesi sırasında bu verilerin ne kadar temsil edici olduğu ve niceliği de göz önünde bulundurulması gereken konulardır. Ayrıca daha önce yapılmış çalışmalar sonucu elde edilmiş olan veriler genelde belli etkinliklerin (elektrik üretimi, alimünyum üretimi gibi) tümü için belirlenmiş olup, bu üretim süreçlerinin ayrı ayrı bileşenleri için mevcut olmayabilmektedir.

Analitik bir araç olarak YDA çeşitli karar verme süreçlerine önemli bir destek sunsa da, kendi başına bir karar verme mekanizması değildir ve karar verme sürecinin yerine kullanılamaz. YDA metodolojisinden de görülebileceği gibi çalışmanın sonuçları, kullanılan verilerin nitelik ve niceliği veya yapılan tercih ve varsayımlara bağlı olarak farklılaşabilir. Bu çerçevede YDA çalışmalarına dayanılarak verilen kararlar aynı zamanda bu olası farklılıkları da içerecektir. Bu nedenle YDA bir karar destek mekanizması niteliğinde olup mutlak ve değişmez doğruları yansıtmak durumunda değildir (Handbook on Life Cycle Assessment, 2004).

5. YDA Alanında Faaliyet Gösteren Uluslararası Aktörler

YDA çevre yönetimi alanının temel konularından birisidir. Yetmişli yılların başından bu yana üzerinde araştırmalar yapılan YDA daha önceki yıllarda Kaynak ve Çevre Profil Analizi (*Resource and Environmental Profile Analysis*), Ürün Eko-denge Analizi (*Product Ecobalance*) gibi isimlerle anıldı. Bu bölümde uluslararası düzeyde YDA konusunda önemli role sahip kurumların çalışmaları kısaca tanıtılacaktır.

SETAC

(Society of Environmental Toxicology and Chemistry – Çevre Toksikoloji ve Kimya Örgütü)

SETAC, YDA'nın geliştirilmesinde rol almış ilk uluslararası şemsiye kuruluştur. Akademi, endüstri ve hükümetlerden üyelere sahip bu kuruluş YDA'nın geliştirilmesinde bilimsel bazlı bir platform olarak rol oynamıştır. SETAC'ın hedefleri arasında YDA metodunun bilimsel olarak geliştirilmenin yanı sıra, YDA ile ilgili araştırma sonuçlarının çevre yönetiminin çeşitli alanlarında uygulanmasına destek vermek de yer alır.

SETAC'ın YDA konusundaki başlıca etkinlikleri şöyle özetlenebilir:

- YDA metodolojisinin geliştirilmesi konusunda Kuzey Amerika ve Avrupa'da düzenli olarak organize edilen bilimsel toplantılar,
- Her yıl Brüksel'de çeşitli endüstriyel sektörlerde YDA uygulamalarından elde edilen örnek çalışmaların değerlendirildiği toplantılar düzenlemek,
- Hem Kuzey Amerika hem de Avrupa'da 1996'dan bu yana YDA'nın metodoloji ve uygulama boyutlarına ilişkin araştırmalar yapan çalışma gruplarını koordine etmek (Guinee ve diğerleri, 2011; Handbook on Life Cycle Assessment, 2004; <http://www.setac.org/>).

ISO

(International Organization for Standardization – Uluslararası Standardizasyon Örgütü)

ISO çok sayıda ülkenin ilgili ulusal kurumunun katılımı ile birçok ürün ve etkinliğin standartlaştırılmasına yönelik faaliyet gösteren bir kuruluştur. En önemli etkinlik alanlarından birisi iş dünyasındaki uygulamalara kalite boyutunun entegrasyonu için kullanılan 9000 serisi standartların geliştirilmesidir.

ISO'nun daha çok 14001 Çevre Yönetim Sistemleri ile tanınan 14000 serisi standartları arasında YDA'ya ilişkin 14040 sayılı serisi de bulunmaktadır. (ISO, 1997/1998/1998b) ISO'nun 1994 yılından bu yana geliştirmekte olduğu 14040 standart serisi YDA'nın hem teknik hem de organizasyonel yapısı ile ilgilidir. YDA sonuçlarının kritik değerlendirilmesi, sonuçlarının kamuoyu ile paylaşılması ve paydaş katılımı süreçleri YDA'nın organizasyonel boyutu kapsamında yapılan çalışmalar arasında yer almaktadır (Handbook on Life Cycle Assessment, 2004; <http://www.iso.org/iso/pressrelease.htm?refid=Ref1019>).

ISO ile SETAC'ın paralel ve birbirini destekleyen çalışmaları YDA yönteminin içerdiği belirsizliklerin önemli ölçüde azaltılmasına ve uluslararası düzeyde çok daha kabul edilebilir bir duruma gelmesine önemli katkılarda bulunmuştur. ISO'nun YDA konusunda yaptığı çalışmalar ve geliştirdiği standartlara ilişkin detaylı bilgi Carlson (2003)'dan elde edilebilir.

UNEP

(United Nations Environmental Programme – Birleşmiş Milletler Çevre Programı)

YDA konusunda faaliyet gösteren bir diğer uluslararası kuruluş ise UNEP'tir. UNEP'in odaklandığı alan YDA'nın özellikle gelişmekte olan ülkelerde uygulanmasına yöneliktir. UNEP'in YDA çalışmalarına en önemli katkılarından birisi 1996'da yayınladığı YDA Kılavuzu'dur. UNEP'in konu hakkında bir diğer önemli yayını ise 1999'da çıkan *YDA'nın Küresel Kullanımına Doğru* başlıklı çalışmadır. Ayrıca UNEP, ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) ve Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü (Hollanda) ile birlikte YDA'nın çeşitli boyutlarına ilişkin uluslararası çalıştaylar da düzenlemektedir.

Bunun yanı sıra UNEP ve SETAC, YDA uygulamaları konusundaki en iyi örneklerin belirlenmesine yönelik bir çalışma yürütmektedir. Bu çalışma kapsamında en iyi YDA uygulama örneklerine ek olarak, yaşam döngüsü envanter aşaması için bir veri tabanı ve çevresel etki kategorilerine katkıda bulunan faktörlerin bir listesi de oluşturulmaktadır (Handbook on Life Cycle Assessment, (2004); http://www.estis.net/sites/lcinit/default.asp?site=lcinit&page_id=-15CFD910-956F-457D-BD0D-3EF35AB93D60).

AB (Avrupa Birliği)

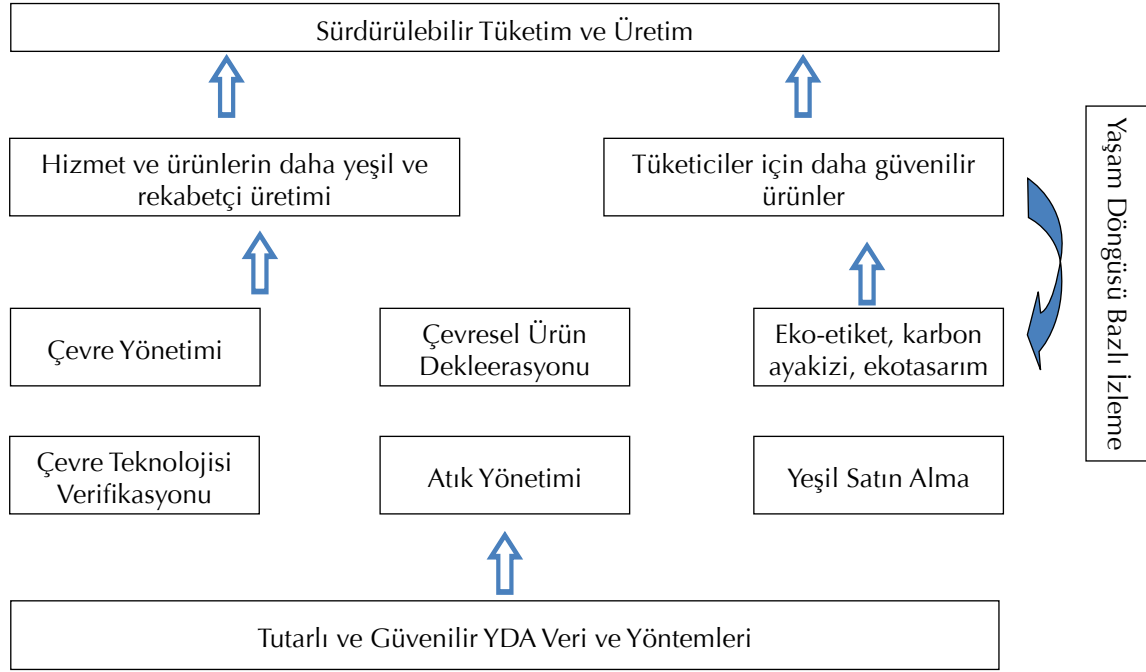
Sürdürülebilir kalkınma AB'nin en temel amaçlarından birisi olarak AB çalışmalarında gittikçe önem kazanan bir konudur. AB Ortak Araştırma Merkezi (Joint Research Center- JRC) AB'nin sürdürülebilir kalkınma hedefini özel ve kamu sektörlerinde yaşam döngüsü bazlı düşünme ve analizinin yaygınlaştırılması bazında desteklemektedir. JRC'nin bu kapsamda yürüttüğü çalışmalar arasında:

- Avrupa YDA platformu
- Uluslararası YDA referans sistemi el kitabı
- YDA bazlı izleme indikatörleri
- Yaşam döngüsü bazlı atık politikaları kılavuzu
- YDA bazlı arazi kullanım analizi
- Karbon ayak izi

gibi araçlar bulunmaktadır (<http://lct.jrc.ec.europa.eu/>). Avrupa YDA platformu bir dizi çevre politikası ve enstrümanını destekleyecek çalışmalar gerçekleştirmektedir (Şekil 4).

(<http://lct.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/European%20Platform-090310-last.pdf>)

Yaşam döngüsü yaklaşımlarının bilimsel bazlı karar verme süreçlerindeki önemini kavrayan AB Komisyonu 2003 yılında Entegre Ürün Politikası (IPP) başlıklı bir tebliğ yayınladı (COM (2003) 302 final, <http://ec.europa.eu/environment/ipp/>). Buna ek olarak AB üyesi ülkeler Avrupa YDA platformu aracılığı ve konu ile ilgili paydaşların da katılımıyla çeşitli yayınlar yaparak ve pilot çalışmalar düzenleyerek yaşam döngüsü perspektifinin öncelikli sektörler başta olmak üzere ilgili politik süreçlere entegre edilmesine yönelik bir dizi çalışmada bulundu (Pennington ve diğerleri, 2007).



Şekil 4. Sürdürülebilir tüketim ve üretimi destekleyen yaşam döngüsü bazlı enstrümanlar

IPP'ye ek olarak AB'nin 2005'te yayınlanan Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı (COM (2005) 670 final <http://ec.europa.eu/environment/natres/>) ve Atıkların Önlenmesi ve Geri Kazanımı (COM (2005) 666 final <http://ec.europa.eu/environment/waste/>) Stratejileri, Çerçeve Atık Direktifi (COM (2005) 667 final <http://ec.europa.eu/environment/waste/legislation/>) ve Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim ve Sürdürülebilir Sanayi Politikası (SCP/SIP) Eylem Planı (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52008DC0397:EN:NOT>) yaşam döngüsü yaklaşımı kullanılarak oluşturulan AB'nin Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim alanında en temel politikalarıdır (Guinee ve diğerleri, 2011).

6. Yaşam Döngüsü Analizi Çalışmalarında Kullanılan Yazılımlar

YDA'nın çeşitli aşamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş pek çok yazılım ve veri tabanları mevcuttur (<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/>; <http://www.doka.ch/lca.htm#Software>; http://www.life-cycle.org/?page_id=125; <http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/resources.html#-Software>).

2006 yılında yapılan anket bazlı bir araştırmanın sonuçlarına göre YDA kullanıcılarının yüzde 58'i Gabi (<http://www.gabi-software.com/>), yüzde 31'i Simapro (<http://www.pre.nl/content/simapro-lca-software>), yüzde 11'i ise diğer yazılımları kullanmaktadır (Cooper ve Fava, 2006).

YDA yazılımlarına ilişkin daha detaylı bilgi ve karşılaştırmalı değerlendirmelere Jönbrink (2000), Schuppe ve Holly (2002) ve Rebitzer (2004)'den ulaşılabilir.

7. Örnekler

Aşağıda YDA'nın farklı sektördeki kullanımlarına kısa örnekler sunulmaktadır. Sunulan örneklerin detayları için örneklerin sonunda verilen kaynaklara, daha fazla örnek çalışma için ise Schuppe ve Holly web sitesine (2002) (<http://www.esu-services.ch/projects/full-project-list/>; <http://www.doka.ch/lca.htm#Results>; <http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/resources.html#casestudies>) başvurulabilir.

Örnek 1. “Ariel actif a froid” Çamaşır Deterjanı

Tüketim alışkanlıkları ve müşteri tercihlerindeki değişim ile çevreye olan duyarlılıklardaki artışa paralel olarak Procter & Gamble 2005 yılında “Ariel actif a froid” isimli bir deterjan geliştirmiştir. Bu deterjan düşük ısılarda (normalden $-8,5^{\circ}\text{C}$ daha düşük) çamaşır yıkamak için üretilmiştir. Bu yeni ürünün çevresel performansını belirlemeye yönelik olarak Procter & Gamble'ın 1998 ve 2001 yıllarında Fransa'da piyasaya sürdüğü iki farklı deterjan (Ariel 1998 ve Ariel 2001) ile karşılaştırıldığı bir YDA çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu YDA çalışması ile “Ariel actif a froid” kullanımının enerji tasarrufu ve çevresel etkiler bazında yol açacağı kazanımların belirlenmesi hedeflenmiştir.

Yapılan YDA çalışmasında fonksiyonel birim olarak her bir yıkama için kullanılan deterjan miktarı seçilmiştir. Yapılan çalışmada karşılaştırılan deterjanların özellikleri Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Karşılaştırılan deterjanların özellikleri

Ürün	Toz Deterjan			Seyreltik Sıvı Deterjan		
	1998	2001	Actif a froid	1998	2001	Actif a froid
Bir yıkama için tavsiye edilen doz	150 g	122 g	95 g	150 ml	120 ml	120 ml
Ortalama yıkama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	47,8	45,1	32,9	47,8	45,1	32,9

Gerçekleştirilen YDA çalışması sonuçlarına göre, “Ariel actif a froid” Ariel 1998 ve 2001'e göre toplam birincil enerji kullanımında yüzde 27'lik bir azalmaya yol açmaktadır. Ayrıca enerji kullanımı bazı çevresel indikatörlerde de önemli bir iyileşme söz konusudur. Örneğin “Ariel actif a froid” kullanımı ile iklim değişikliğine yol açan emisyonlardaki azalma Ariel 2001'e göre yüzde 18'dir. Bunlara ek olarak “Ariel actif a froid” Ariel 1998 ve 2001'e göre değerlendirilen hiçbir çevresel indikatör için (sucul ekotoksiste, ötrofikasyon, asidifikasyon, fotokimyasal oksitleyici oluşumu, ozon tabakasının incilmesi, katı atık oluşumu, su kullanımı gibi) negatif bir etkiye yol açmadığı görülmüştür. “Ariel actif a froid”'in Ariel 2001'e göre sağladığı çevresel etki azaltımları Tablo 4'te özetlenmiştir (Procter & Gamble, 2006).

Tablo 4. “Ariel actif a froid”’in Ariel 2001’e göre sağladığı çevresel etki azaltımları

Normalize edilmiş Çevresel İndikatör	Fransa’da bir yıl boyunca Ariel 2001 yerine “Ariel actif a froid” kullanımının sağladığı çevresel etki azaltımı
Toplam katı atık (ton)	49374
Toplam su kullanımı (ton)	2324510
İklim değişikliği (kg CO ₂ eşdeğeri)	160324649
Ötöfikasyon (kg PO ₄ eşdeğeri)	335343
Asidifikasyon (kg SO ₂ eşdeğeri)	223862
Toksisite (kg 1,4-diklorobenzen eşdeğeri)	12929330

Örnek 2. Sebze (Vejetaryen) ve Et Yemeklerinin Çevreye Etkileri

Gıda endüstrisi önemli miktarlarda sera gazı emisyonuna neden olmaktadır. Bu sektörde çevreye en ağır yükü getiren etkinlikler özellikle hayvan çiftliklerinde gerçekleşenlerdir. Bu noktadan yola çıkılarak et ağırlıklı beslenmenin etsiz (vejetaryen) beslenmeye göre çevre ve insan sağlığına ne tür etkilerinin olduğu yapılan bir YDA çalışması ile araştırılmıştır.

Çalışmada iş ve alışveriş merkezlerinde, hastanelerde hizmet veren kafeteryalarda hazırlanmış beşi etli beşi etsiz (sadece sebze içeren) yemeğin yaşam döngüsü analizi yapılmıştır. Fonksiyonel birim olarak standart bir porsiyon kullanılmıştır. YDA için yemek tariflerindeki malzeme listeleri ve yemeklerin hazırlanmasında kullanılan enerji veri olarak kullanılmıştır. YDA analizinde sera gazı emisyonu baz alınarak çevresel etki değerlendirme yöntemi izlenmiş ve elde edilen sonuçlara göre etli yemeklerin porsiyon başına ortalama 3 kg CO₂ eşdeğeri emisyonu neden olduğu bulunmuştur. Sebze yemeklerinden açığa çıkan emisyon miktarı ise ortalama 0.9 kg CO₂ eşdeğeri/porsiyon şeklinde bulunmuştur. Etli yemekler arasında küresel ısınmaya katkısı en fazla olanlar dana ve kuzu eti ile hazırlanmış olanlardır. Domuz ve tavuk eti kullanılarak hazırlanan yemeklerin çevreye getirdikleri yük daha az bulunmuştur. Besin değeri bazında etli ve etsiz beslenmenin faydaları bu çalışmaya yansıtılmamıştır.

<http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/leuenberger-2010-meals-LCAfood.pdf>

Örnek 3. Etanol ve Petrol Bazlı Yakıtların Karşılaştırılması

Mısır bazlı etanolün petrol bazlı yakıtlara göre çevreye daha az olumsuz etkisinin olduğu genel kabul gören bir önermedir. Ancak yapılan YDA çalışması sonuçlarına göre mısırın yetiştirilmesinde kullanılan pestisit ve gübrelerin çevresel etkileri bundan farklı bir resme işaret etmektedir. Pestisit ve gübre kullanmadan yetiştirilmiş organik mısırdan elde edilen etanol için yapılan YDA sonuçları gayet olumludur. Diğer bir deyişle YDA kullanıldığında, mısırdan elde edilen etanolün petrol bazlı akaryakıttan daha çevresel olmadığı oysa organik olarak yetiştirilen mısırdan elde edilen etanolün petrol bazlı akaryakıtı göre çok daha çevreye duyarlı olduğu bulunmuştur (Dillon, 2007).

Örnek 4. Evsel Katı Atık Yönetimi Metotlarının Karşılaştırılması: Ankara Örnek Çalışması

Bu çalışmada Ankara’da evsel katı atık yönetimine ilişkin çeşitli metotlar Yaşam Döngüsü Analizi yapılarak karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı, Ankara için çevresel etkileri en düşük ve en ekonomik evsel katı atık yönetim opsiyonunu belirlemek olarak tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen senaryolar evsel katı atıkların toplanması, taşınması, kaynakta ayrı toplanması, transfer istasyonlarında ayrıştırılması ile yakma, anaerobik bozundurma ve düzenli depolama süreçlerini içermiştir.

IWM 1 (Integrated Waste Management – Entegre Atık Yönetimi) modeli kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın etki değerlendirmesi bölümünde “Nordic Council of Ministers” tarafından belirlenen ağırlık faktörleri kullanılmıştır. Senaryolar yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı, ortaya çıkan tehlikeli ve tehlikeli olmayan atıklar, küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon, ötrofikasyon ve toksisite potansiyeli bazlarında karşılaştırılmıştır.

YDA sonuçlarına göre, kaynakta ayrıştırmayı içeren senaryonun çevresel etkiler ve enerji kullanımı bazında en uygun yöntem olduğu, yakmayı içeren senaryonun en yüksek maliyet ve toksisiteye karşılık geldiği ve anaerobik bozundurmaya içeren senaryonun en düşük küresel ısınma potansiyeline yol açtığı bulunmuştur (Özeler ve diğerleri, 2006).

Örnek 5. Ketçap Üretimi

Yiyecek üretimi için kullanılan mevcut sistemlerin çevreye çeşitli olumsuz etkileri bulunmaktadır. Hızla artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak üzere bu sistemler, çevresel boyutunu da içerecek biçimde optimize edilmektedirler.

Bu çalışmanın asıl amacı, domates ketçabının yaşam döngüsündeki önemli çevresel girdi ve çıktıları ve çevresel etki bazında “etkin noktaları” belirlemektir. Çalışma tarımsal üretim, endüstriyel üretim, paketleme, taşıma, tüketim ve atık yönetimi süreçlerini kapsamaktadır. Bunun yanı sıra enerji tüketimi ve emisyonlar da değerlendirilmiş ve potansiyel çevresel etkileri incelenmiştir. İncelenen etki kategorilerinde paketleme ve yiyecek işlemenin önemli “etkin noktalar” olduğu görülmüştür.

Çalışılan ürün İsveç’te piyasada en çok paya sahip olan ve 1 kg’lık kırmızı plastik şişelerde satışa sunulan bir markadır. Ürünün yaşam döngüsü şu şekilde özetlenmiştir: Domateslerin yetiştirilmesi ve Akdeniz ülkelerinde domates salçası haline getirilmesi, domates salçasının İsveç’e nakliyesi ve işlenerek ketçap haline getirilmesi. Daha sonra ketçabın paketlenmesi, tüketiciye sunulacağı perakendecilere taşınması, kullanımı ve şişelerin atık olarak tasfiyesi. YDA çalışmasının sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Evlerde buzdolabında saklama için harcanan enerji toplam enerji ihtiyacının yaklaşık yüzde 10 ila 50’sini oluşturmaktadır.
- Yiyecek işleme ve paketleme aşamalarında yakıt tüketimleri çok fazla olduğundan, küresel ısınmaya olan katkıları da yüksek olmaktadır.
- Yiyecek işleme aşaması asidifikasyona yol açmaktadır.
- Ötrofikasyona ve toksisiteye en büyük katkıyı yapan aşama domateslerin yetiştirilmesidir.
- Toplam çevresel emisyonlar en fazla üretim aşamasından daha sonra ise domateslerin yetiştirilmesi aşamasından kaynaklanmaktadır (Andersson ve diğerleri, 1998).

8. YDA'nın Geleceği

1960'lı yıllarda çeşitli ürünlerin karşılaştırılması ve çevreye olan etkilerinin tüm yaşam döngüleri bazında belirlenmesi amacıyla başlatılan çalışmaların bir sonucu olan YDA yaklaşımı günümüzde AB ülkeleri, ABD, Japonya, Kore, Kanada ve Avustralya gibi pek çok ülkede çevre politikalarının ve gönüllü birçok girişimin temel aracı haline gelmiştir.

Bu yoğun kullanıma paralel olarak YDA'ya farklı etki kategorileri (biyo-çeşitlilik, gürültü gibi) eklenmiş ve çeşitli projelerin toplumsal ve ekonomik boyutları da YDA ile değerlendirilmeye başlanmıştır.

AB'nin YDA'nın geliştirilmesine yönelik olarak desteklediği CALCAS (Co-ordination Action for innovation in Life Cycle Analysis for Sustainability) projesinin en önemli çıktılarından biri de Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirlik Analizi (YDSA) yaklaşımıdır (<http://www.calcasproject.net/>). Bu yaklaşım YDA'nın sürdürülebilirlik çalışmaları kapsamında ihtiyaç duyacağı bilgi, model ve araştırmaların saptanıp, tamamlanmasına yöneliktir.

YDSA, ağırlıklı olarak çevresel etkilere odaklanan mevcut YDA yaklaşımının, insan, gezegen ve refahtan oluşan sürdürülebilirliğin üç boyutunu da kapsayacak şekilde genişletilmiş hali olarak da düşünülebilir. YDSA ürün spesifik YDA yaklaşımını, sektörel ya da ekonomik boyuta taşıyan daha geniş kapsamlı bir araç olarak kurgulanmıştır. YDSA yaklaşımına ilişkin detaylı bilgiye Guinee ve diğerleri, (2011) den ulaşılabilir.

Kaynakça

- Andersson K., Ohlsson T., Olsson P., 1998. "Screening life cycle assessment (LCA) of tomato ketchup: a case study", *Journal of Cleaner Production*, 6, 277–288.
- Cooper J.S. ve Fava J., 2006. "Life Cycle Assessment Practitioner Survey: Summary of Results," *Journal of Industrial Ecology*, 10(4) 12 -14.
- Dillon A., 2007. *Life Cycle Assessment (LCA) Teaching Guide*, The Institution for Market Transformation to Sustainability, Washington D. C., USA.
- Guinee J.B., Heijungs R., Huppes G., Zamagni A., Masoni P., Buonamici R., Ekvall T. Ve Rydberg T., 2011. "Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future", *Environ. Sci. Technol.* 45, 90–96
- Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards, ECO-EFFICIENCY IN INDUSTRY AND SCIENCE, Editor: Dr. Arnold Tukker, 2004 Kluwer Academic Publishers, New York, USA.
- International Standards Organization. 1997. *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework ISO 14040*.
- International Standards Organization. 1998. *Life Cycle Assessment - Impact Assessment ISO 14042*.
- International Standards Organization. 1998b. *Environmental Management - Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation ISO 14043*.
- International Standard ISO 14041. Environmental management—life cycle assessment—goal and scope definition and inventory analysis; 1998.
- International Standard ISO 14042. Environmental management—life cycle assessment—life cycle impact assessment; 2000.
- International Standard ISO 14043. Environmental management—life cycle assessment—life cycle interpretation; 2000b.
- International Standard ISO 14048. Environmental Management—life cycle assessment—data documentation format; 2001.
- Jiménez-González, C.; Kim, S.; Overcash, M. Methodology for developing gate-to-gate Life cycle inventory information. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2000, 5, 153-159.
- Jönbrink A.K., Wolf-Wats C., Erixon M., Olsson P., Wallén E., 2000. *LCA Software Survey*, Swedish Industrial Research Institutes. Initiative Report No B 1390, SIK research publication SR 672, Stockholm, Sweden.
- Özeler D., Yetiş Ü. and Demirel G.N., 2006. "Life cycle assessment of municipal solid waste management methods: Ankara case study", *Environment International*, 32, 3, 405-411.
- Pennington D., Wolf M.A., Bersani R. and Pretato U., 2007. Overcoming Barriers to the Broader Implementation of Life Cycle Thinking in Business and Public Administration, *International Journal of LCA* 12 (7), 458-460.
- Procter & Gamble, 2006. Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Ariel "Actif à froid" (2006), a laundry detergent that allows to wash at colder wash temperatures, with previous Ariel laundry detergents (1998, 2001), Procter & Gamble, Brussels Innovation Center, Central Product Safety –Environmental, April 2006.
- Rebitzer G., Ekvall T., Frischknecht F., Hunkeler D., Norris G., Rydberg T., Schmidt W.P., Suh S., Weidema B.P., Pennington D.W., 2004. "Life cycle assessment, Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications", *Environment International* 30, 701– 720.
- Rosselot K. and Allen D.T., 2001. "Life-Cycle Concepts, Product Stewardship and Green Engineering", *Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*, Editörler: D. T. Allen ve D. Shonnard, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Schuppe J. ve Holly H., 2002. *Lifecycle Assessment (LCA) White Paper*, Technology Transfer #02014238A-TR, International SEMATECH, January 31, 2002.
- UNEP, 2004. *Why Take a Life Cycle Approach?*
- U.S. Environmental Protection Agency, 2006. *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, EPA/600/R-06/060, May 2006, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, USA.



Yaşam Döngüsü Analizi



Bu proje Avrupa Birliği tarafından finanse edilmektedir.

