

established in  
2016



# MAS JOURNAL of Applied Sciences

ISSN 2757-5675

DOI: <http://dx.doi.org/10.52520/masjaps.47>

Araştırma Makalesi

## Yapı Sektöründe Uygulanan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinde Karşılaşılan Sorunlara Çözüm Önerileri

Ahmed Abdulwahab Mohammed Mohsen Al-HUTHAIFI<sup>1\*</sup>, Mehmet Fatih ALTAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Istanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

\*Sorumlu yazar: ahmedabdulwahabmoham@stu.aydin.edu.tr

**Geliş Tarihi:** 06.02.2021

**Kabul Tarihi:** 10.03.2021

### Özet

Çevre kalitesinin iyileştirilerek bireylerin sağlıklı bir ortamda yaşamlarını sürdürebilmeleri için yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin, tüm yaşam süreleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi gerekmektedir. Yaşam döngüsü olarak ifade edilen bu süreç, hammaddenin çıkartılmasından başlayarak, yapı malzemesinin veya binanın üretimi, yapımı, kullanımı, yıkımı ve yıkım sonrası evrelerinin tamamını kapsamaktadır. Bu evrelerin her birinde yapı ürünleri farklı çevresel etkilere neden olabilmektedir. Bu ürünlerin belirgin özelliği çoğunlukla uzun hizmet veya kullanım ömrüne sahip olmaları ve tüm kullanım evreleri süresince belli periyotlarda ve belirli yöntemlerle bakım ve onarım gerektirmeleridir. Bu bakım ve onarımla ilişkili olarak da yapı ürünlerinin insan sağlığını olumsuz etkileyen çevresel etkilere yol açtıkları bilinmektedir. İsviçre'nin Cenevre şehrinde 120 ülkenin temsilciliğini yapan Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO: International Organisation for Standardization), ortak gayretlerin daha da etkin ve verimli olabilmesi adına ISO 14000 çevre yönetimi standartları geliştirmiş bu standartların yanı sıra Yaşam Döngüsü Değerlendirmesini içeren ISO 14040 serisini hazırlamıştır. Türkiye'de de TSE'nin altında, TC207 ve TC176 teknik komiteleri oluşturularak ISO 14000 çevre yönetim standartları serilerini hazırlamışlardır. Bu çalışmada son gelişmeler ve yaklaşımlar doğrultusunda modern yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) kavramı, aşamalarıyla incelenecek ve yapı sektöründe yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin yaşam döngüleri boyunca değerlendirilmesinde karşılaşılan sorunlar açıklanarak çözüm önerileri getirilmeye amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yaşam döngüsü değerlendirme, YDED, YDY, yapı malzemeleri, çevresel etki

## Solution Suggestions For Problems Encountered in Life Cycle Assessment Applied in Building Sector

### Abstract

To improve environmental quality and ensure that individuals can live in a healthy environment, the environmental impact of building products needs to be evaluated with all life expectancy in mind. This process, which is referred to as a life cycle, covers the entire production, construction, use, demolition and post-demolition stages of the building material or building, starting from the removal of the raw material. In each of these stages, construction products can cause different environmental effects. The obvious feature of these products is that they often have a long service or service life and require maintenance and repair in certain ways during all service phases and throughout all service periods. It is also known that in relation to this maintenance and repair, building products have environmental implications that negatively impact human health. The International Organization for Standardization (ISO: International Organization for Standardization), which is the representative of 120 countries in Geneva, Switzerland, has prepared the ISO 14040 series, which includes these standards for environmental management in ISO 14000, as well as the Lifecycle Assessment, to make common efforts even more efficient. Under TSE in Turkey, TC207 and TC176 have formed technical committees and prepared ISO 14000 environmental management standards series. The study aims to examine the concept of a modern life cycle assessment (YDD) in line with the latest developments and approaches, and to provide solution recommendations by explaining the issues encountered in the construction industry in evaluating the environmental impact of building products throughout their lifecycle.

**Keywords:** Life cycle assessment, YDED, YDY, construction materials, environmental impact

## GİRİŞ

İnşaat malzemelerinin üretimi sırasında enerji kullanımı kaynaklı salınımların çevreye olumsuz etkileri uzun yıllardır bilinmektedir ancak günümüzde çevre bilincinin gelişmeye başlamasıyla insanlar sürdürülebilir bir yaşam ortamı ve çevre kalitesinin iyileştirilmesini giderek daha fazla talep etmeye; ürün satın alımında da çevre dostu olup olmamasına dikkat etmeye başlamışlardır. Bu durum inşaat sektörüne de yansımış, bilinçlenme oranını yükseltmiş ve duyarlılık düzeyini artmıştır; dolayısıyla inşaat sektöründe günümüzdeki bina tasarımlarında ve yapımında çevreci yaklaşımların geliştirilmesine ve uygulanmasına neden olmuştur.

YDD (LCA) yöntemi, endüstriyel ürünlerin yaşam döngüsünde çevresel değerlendirilmesi amacıyla ortaya çıkmış ve zaman içinde yapı sektöründe de benimsenmiştir. Yapı ürünlerinin yaşamları döngüsü süreci, hammaddenin çıkarılmasından başlayarak, üretimi, yapımı, kullanımı, yıkımı ve yıkım sonrası evrelerini kapsamaktadır. Yaşam döngüsünün her evresi farklı çevresel sorunlara neden olabilmektedir. Bu evrelerdeki çevresel etkileri değerlendirmek üzere yapılan çalışmalarda çoğunlukla kullanım evresinin dikkate alınmadığı görülmektedir. Yapı ürünleri uzun hizmet ömrü ve kullanım evreleri süresince belirli periyotlarda bakım-onarım gerektirmektedir. Bu nedenle yapı ürünleri kullanım evrelerinde insan sağlığına zarar verebilecek birçok olumsuz çevresel etkilere neden olabilmektedir (Gültekin ve Çelebi, 2016).

Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir rolü olan yaşam döngüsü değerlendirmesi, proses, ürün veya hizmetlerin, doğal kaynaklarından yani hammaddeden

üretimine, kullanımından nihai bertarafına kadar birbirini takip eden tüm süreçler boyunca, çevresel etkilerini belirlemek için uygulanan bir yöntemdir (Çankaya, 2018).

Binalarının yaşam döngüsü kavramı, yapı malzemelerinin üretilmesinden binanın yıkılmasına kadar geçen tüm aşamaları ifade etmektedir. Bu aşamaların her birinin gerçekleşmesi içinde enerji kullanımı gerekmektedir. Dünya’da tüketilen birincil enerjinin % otuz ile kırk’ı binalarda kullanılmaktadır ve bu durum sera gazı salınımlarının %kırk-elli’sini oluşturmaktadır (Hozatlı ve Günerhan, 2015).

Yaşam döngüsü enerji tüketimleri açısından binaların işletim enerjisi miktarlarında büyük oranda tasarruflar sağlamaktadır. İnşaat sektörünün doğal çevre üzerindeki etkisini hesaplamak için öncelikle sera gazları emisyonlarına bakmak gerekmektedir. İklim değişikliğinde en fazla etkili olan malzemeler beton ve çeliktir (Tufan ve Özel, 2018). Binalarla ilgili yapılan çalışmalarda, kullanılan yapı malzemelerinin binaların enerji tüketimlerini ve sera gazı salınımlarını etkilediği görülmüştür.

Adalberth (1997) 3 farklı müstakil binanın yaşam döngüsü enerji miktarını hesaplamış ve en yüksek enerjinin tüketildiği aşamanın binaların işletilmesi sırasında kullanıldığını belirlemiştir. Buna göre bina yapımında kullanılan malzeme miktarının enerji tüketiminde çok fazla etkisinin olmadığı ancak malzemelerin üretimi esnasında harcanan enerji miktarlarının daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Adalberth, 1997).

Cole ve Kernan (1996), ahşap, çelik ve betonarme binalarının yaşam döngüsü enerji kullanımlarını araştırdığı çalışmalarında, çelik (6.6 Gj/m<sup>2</sup>) ve betonarme (3.4 Gj/m<sup>2</sup>) yapılarla ahşap

(3.7 GJ/m<sup>2</sup>) yapılara göre daha yüksek miktarlarda enerji kullanıldığını bulgulamışlardır (Cole ve Kernan, 1996). Gerilla ve diğ. (2007) farklı ülkelerdeki ahşap ve çelik katkılı betonarme binaların yaşam döngüsü enerjilerini hesaplamışlar ve çevresel etkilerini incelemişlerdir buna göre; betonarme binaların ahşap binalardan daha fazla olumsuz etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Çelik katkılı betonarme binaların emisyon salınımlarının ahşap binalara göre %23 daha fazla olduğunu bulgulamışlardır (Gerilla ve ark., 2007).

Bribian ve ark. (2011) zemin kaplamalardaki seramik fayans malzemelerinin birincil enerji talebinin tuğla ve kiremitlerden çok daha yüksek olduğunu (15.649 Mj-Eq/kg) bulgulamıştır (Bribián ve ark., 2011).

Hossain ve ark. (2017) YDD yöntemi kullanarak Hong Kong'daki çimento sanayinin yüksek CO<sub>2</sub> salınımı yaparak çevreye olumsuz etkiler yarattığını ve bu çevresel etkileri azaltmak için uçucu kül kullanılabilceğini bildirmişlerdir. Bunun yanında çimento sektöründe atıkların kullanımıyla enerji tüketiminin %15 ve gaz salınımının %12 azaltılabileceğini belirtmişlerdir (Hossain ve ark., 2017).

Ramesh ve ark. (2012) tarafından Hindistan'da gerçekleştirilen çalışmada yalıtım kullanılmadan sadece alternatif duvar malzemelerinin kullanıldığı yapılarda yaşam döngüsü enerji tüketimlerinin %1.5-5 arasında düştüğü görülmüş, binada yalıtım kullanıldığında ise enerji tasarruf oranının %10-30 düzeylerinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir (Ramesh ve ark., 2012).

Bu çalışmada son gelişmeler ve yaklaşımlar doğrultusunda modern yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) kavramı, aşamalarıyla incelemek ve yapı sektöründe yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin yaşam döngüleri boyunca

değerlendirmesinde karşılaşılan sorunlar açıklanarak çözüm önerileri getirilmeye amaçlanmıştır.

### **Yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) tanım ve ilkeleri**

Birçok işletme, yapı malzemelerinin üretimi ve kullanılmasından kaynaklanan çevresel etkileri en aza indirmek için araştırmalar yapmaktadır. Bu araştırmalarla birlikte çeşitli sistemlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için çeşitli araçlar ve yöntemler geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak, Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA), Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi, Stratejik Risk Analizi (SEA), Çevresel Etki Değerlendirme (EIA), Çevresel Risk Değerlendirme (ERA), Entegre Etki Değerlendirme, Maliyet – Fayda analizi (CBA), Malzeme Akış Analizi (MFA), Ekolojik Ayak İzi, Karbon Ayak İzi gibi yöntemler sayılabilir (Finnveden ve ark., 2009).

Araştırmacılar bir ürün veya hizmetin üretilmesinde sürdürülebilirliğin sağlanması için bu yöntemlerden bütünsel analitik bir yaklaşıma sahip olan Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) yöntemini tavsiye etmektedirler. YDD, üretimde kullanılan hammaddelerin temininden, kullanımına, kullanım ömrünün bitiminde geri dönüşümüne ve nihai bertafına kadar tüm yaşamı boyunca, çevresel boyutların ve olası çevresel etkilerinin (kaynakların kullanımının ve salınımlarının çevresel sonuçları gibi) incelendiği bir araçtır. (Çankaya, 2018).

YDD, binaların veya inşaat malzemelerinin çevresel performansını analiz etmek amacıyla yöntemlerden biridir. Dünya genelinde toplam CO<sub>2</sub> salınımının %5-8 kadarı önemli bir yapı malzemesi olan çimentonun üretimi sırasında ortaya çıkarmaktadır. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yapılan akademik çalışmalarda

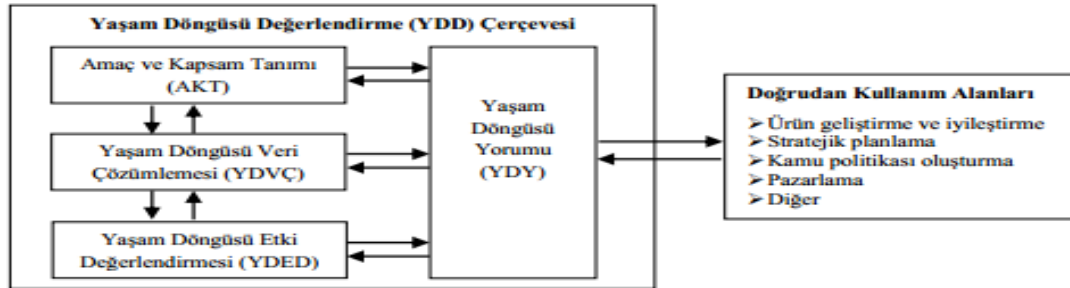
çimentonun uçucu kül, atık cam, yüksek fırın cürufu gibi atık malzemelerle ikame edildiğinde emisyon oranlarında önemli azalmalar olduğu ortaya konmuştur (Demirel ve ark., 2019).

YDD, çevresel etkileri belirleyerek alternatif proseslerin çevresel performanslarını karşılaştırmak toplam enerji tüketimini yorumlamak, enerji kazanımlarını ve emisyon azaltma tekniklerini belirlemek ve karar vericileri politikalar ve enerji verimliliği yatırımları hakkında bilgilendirmek amacıyla kapsamlı olarak kullanılan bir yöntemdir (Hossaina ve ark., 2016). Bu kavram, sadece ürünün üretimi aşamasında gerekli prosesleri değil; hammaddenin temini, işlenmesi, nakliyesi, inşası (upstream), üretilen ürünün kullanılması ve kullanım ömrünü tamamladıktan sonraki nihai bertarafını

(downstream) içeren prosesleri de dikkate alması açısından klasik yaklaşımdan farklıdır. YDD aracı ile ürün/hizmetlerin üretimi, kullanılması ve kullanım ömrünü tamamladıktan sonraki bertaraf yöntemlerinin tüm aşamalarındaki çevresel yüklerin analizi gerçekleştirilmektedir. Çevresel yükler, doğal kaynakların tahribatı, enerji tüketimi, ve kara, su ve hava üzerindeki emisyonları kapsayan çevre üzerindeki tüm etki çeşitlerini içermektedir (Çankaya, 2018).

#### YDD aşamaları

ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına göre, yaşam döngüsü değerlendirme 4 aşamadan oluşmakta olup bunlar: amaç ve kapsam tanımları; envanter analizi; etki değerlendirme ve yorumdur (ISO 2006a; ISO 2006b)



Şekil 1. YDD Yöntemi Şeması (Gültekin ve Çelebi, 2016)

#### Amaç ve kapsam tanımları

YDD'de ilk aşamada amaç ve kapsam tanımları yapılır; bu tanımlarda çevresel etkileri değerlendirebilecek yapı ürün sistemi ve bu sistemle ilgili varsayımlar, işlevsel birimler, sistem sınırları, dağıtım yöntemleri, etki kategorileri ve etki değerlendirme yöntemleri belirlendiği gibi bu aşamada ayrıca veri gereksinimlerini de tanımlanmaktadır (Gültekin ve Çelebi, 2016). Bu aşamada amacın tanımı, çalışmanın gerçekleştirme nedenleri ve çalışma sonuçlarının ulaştırılması

istenen hedef kitle açıklanmakta olup herhangi bir veri toplama veya sonuç hesaplamayı içermemektedir (ISO, 2006a). Kapsam tanımlamada, fonksiyonel birim ve sistem sınırları gibi temel seçimler gerçekleştirilmektedir.

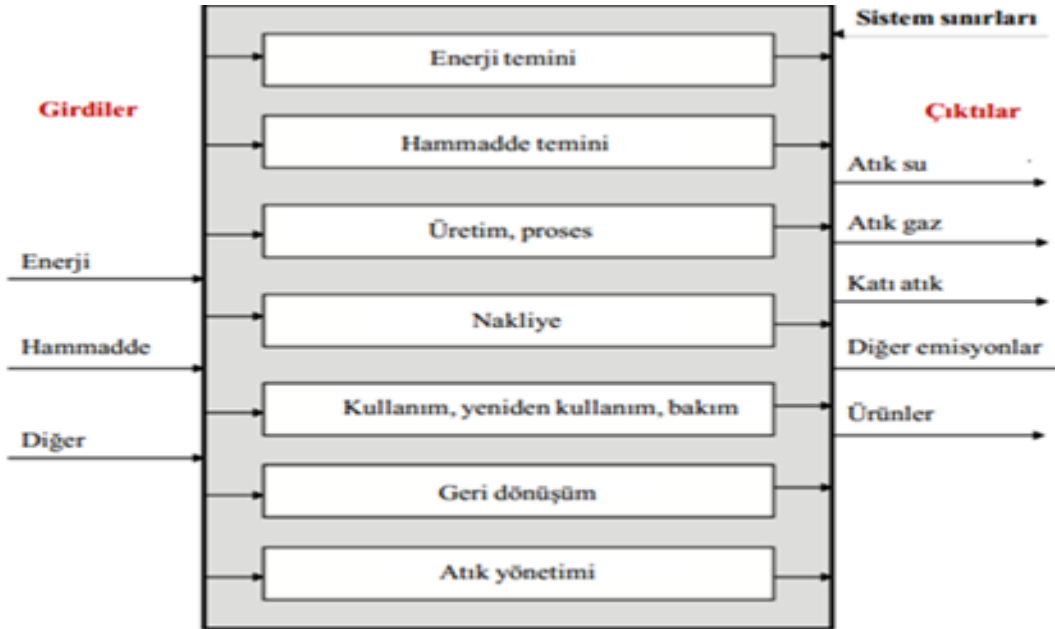
#### İşlevsel (Fonksiyonel) birim

Bir yapı ürününün kullanım amacını ve faydasını belirten işlevsel birimin temel amacı, YDD sonuçlarının karşılaştırılabilirliğinin sağlanması için gerekli olan girdilerle ve çıktılarla ilgili bir referans oluşturmak olduğundan fiziksel miktardan ziyade ürünün

fonksiyonu ile ilgili olmalıdır. YDD’de yapı ürününün işlevini yerine getirebilmesi için gerekli olan miktar  $m^2$ ,  $m^3$ , kg, lt gibi ölçülebilir birimlerle tanımlanmalıdır. YDD çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumlanmasında, karşılaştırılan sistemlerin eşdeğerliliğine dikkat edilmelidir çünkü bu tür karşılaştırmalarda yapı ürününün kendisinin değil; işlevsel özelliklerine odaklanılması sonuçların daha doğru ve güvenilir olmasını sağlamaktadır (Gültekin ve Çelebi, 2016).

### Sistem sınırı

Yapı ürünü sistemini oluşturan unsurlar ara ürün ve atık işleme akışları ile birbirlerine bağlı olan birim işlemleridir. Birim işlemlerinin, diğer ürün sistemlerine ve çevreye temel akışlarla bağlantıları bulunduğu için sistem sınırları kapsamında birim işlemleri belirlenmelidir (Gültekin ve Çelebi, 2016). Sistem sınırı, YDD çalışmasına hangi birim süreçlerin dâhil edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Şekil 2’de örnek bir sistem sınırı gösterilmektedir.



Şekil 2. Örnek Bir Sistem Sınırının Gösterimi (Çankaya, 2018)

Sistem sınırının seçimi, çalışmanın amacıyla uyumlu olmalıdır ve çalışmaya hangi birim süreçlerin dâhil edileceğine, bu süreçlerin hangi seviyeye kadar çalışılacağına dair karar verilmelidir. Literatürde, yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmasının kapsamını belirleyen beşikten mezara, beşikten kapıya, kapıdan kapıya vb. çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır.

#### a) Beşikten-mezara yaklaşımı

YDD yönteminde önemli bir kavram olan “yaşam döngüsü” kavramı

ile bir ürün/hizmetin “beşikten mezara” izlenilmesi ifade edilmektedir. “Beşikten mezara” yaklaşımı, hammaddenin temini aşamasından başlayıp, ürünün üretimi, kullanımı ve kullanım sonrası nihai bertarafına kadar olan tüm süreci kapsayan tam bir yaşam döngüsü değerlendirme çalışmasıdır.

#### b) Beşikten-kapıya yaklaşımı

Bu yaklaşımda hammadde temini sürecinden başlayarak, ürünün üretimi ve fabrikadan çıkışına (kullanıcıya ulaştırılmadan önceki aşaması) kadar

olan süreci kapsayan kısmi bir yaşam döngüsü değerlendirme çalışmasıdır. Bazı durumlarda, tam bir yaşam döngüsü değerlendirmesi (beşikten mezara) mümkün olmayabilir ve çalışmalar “beşikten kapıya” yaklaşımıyla gerçekleştirilebilir (Çankaya, 2018).

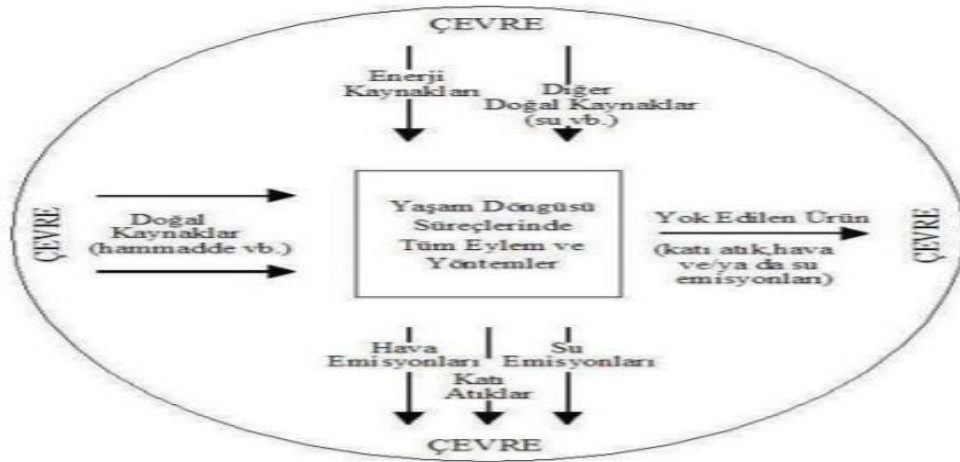
Beşikten-kapıya yaklaşımında sadece üretime kadar olan bütün aşamalar dikkate alınmaktadır fakat ürünün kullanımı ve nihai bertarafı dikkate alınmaz. Sistem sınırı dört ana aşamada belirlenmiştir:

- Atık malzemeler (glassPET ve UK) hazırlama (tasnif ve öğütme)
- Hammaddenin topraktan çıkarılması (madencilik ve kırma)
- Su agrega, kimyasal katkıları ve mineral katkıların eklenmesi
- Kalsinasyon, öğütme ve paketleme

Bu aşamaların yanı sıra çimento fırınında kullanılan yakıtın yanması ve tüm materyallerin hammadde olarak kaynağından alınarak harç üretim tesisine taşınması sürecinde kullanılan araçlardan yakıt yakılması sonucu ortaya çıkan emisyonlar da sistem sınırları kapsamındadır (Demirel ve ark., 2019).

### Envanter analizi

Envanter analizinde, ürünün tüm yaşam döngüsü süreçlerindeki girdi ve çıktıları tanımlanmaktadır; yani enerji ve hammadde ihtiyaçlarının, hava ve su emisyonlarının, katı ve diğer çevresel atıkların belirlendiği aşamadır. Yaşam döngüsü envanteri beş basit adımdan oluşabilir: 1) Alt amaçların tanımlanması. 2) Ürün bilgilerinin toplanması. 3) Bir bilgisayar modeli oluşturulması. 4) Ürün bilgilerinin analizi. 5) Analiz sonucu. (Taygun, 2005)



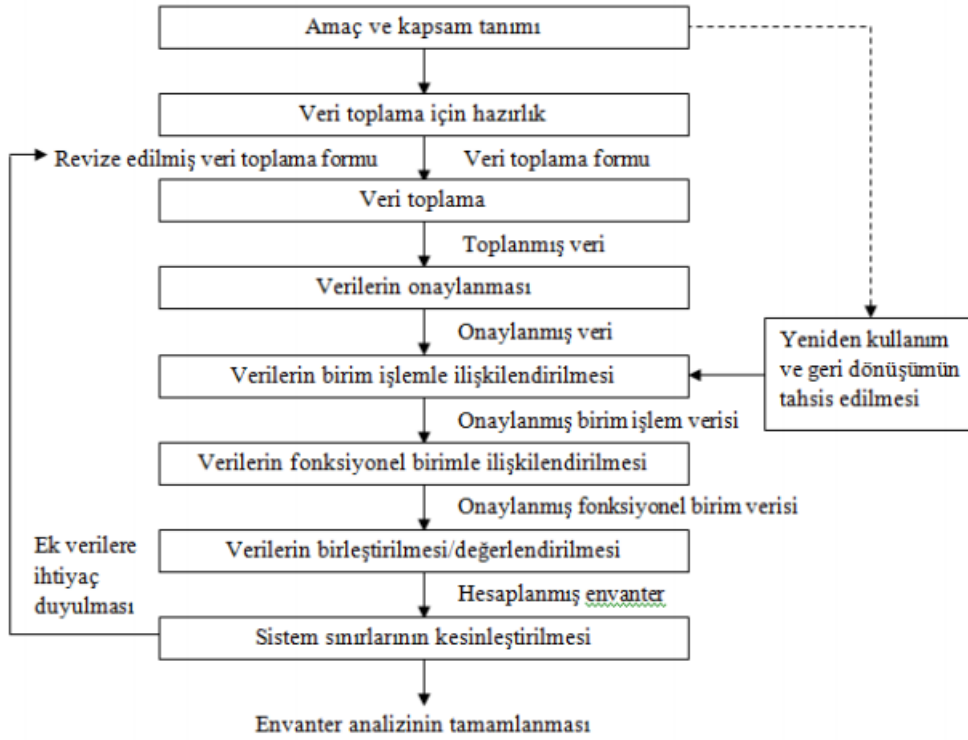
Şekil 3. Yaşam Döngüsü Süreçlerinde Girdi ve Çıktılar (Curran,1996:aktaran: Taygun, 2005)

Kapsamı çeşitli yaklaşımlara göre belirlenen (beşikten mezara, beşikten kapıya. vb) yaşam döngüsü değerlendirmesinde, en önemli aşamalardan biri, çeşitli veri tabanlarından yararlanılarak oluşturulacak olan güvenilir bir envanter çalışmasıdır. Envanter analizi, veri kalitesi ve ulaşılabilirliği nedeniyle

yaşam döngüsü değerlendirmesi yaklaşımının en kritik süreci olarak tanımlanabilir. Envanter analizi aşamasında, ürünün tüm yaşam döngüsü süreçleri boyunca girdi ve çıktıları tanımlanmakta; enerji ve hammadde akışları, havaya, suya ve toprağa olan emisyonlar ve diğer atıklar belirlenmektedir (Taygun, 2005).

Sanayi süreçlerinin çok azında düzenli bir şekilde hammadde girdi ve çıktısı ya da tek bir çıktı bulunmaktadır aksine bu tür süreçlerin çoğunluğundan birden fazla çıktı ortaya çıkmakta yani ürün imal edilmekte bu ürünlerde ara ürünleri kullanmakta veya atılan ürünleri geri dönüştürerek hammadde olarak kullanırlar. Bu durumda yani birden fazla ürün çıktısı olan ve geri dönüşüm

sistemlerine sahip süreç sistemlerinde tahsisat prosedürlerine gereksinim duyulmaktadır. ISO 14040 standardına göre tahsisat, bir sürecin veya bir ürün sisteminin girdi-çıkış akışlarının, çalışılan ürün sistemi ile bir veya birden fazla olarak diğer ürün sistemleri arasında paylaşılması olarak tanımlanmaktadır (ISO 2006).

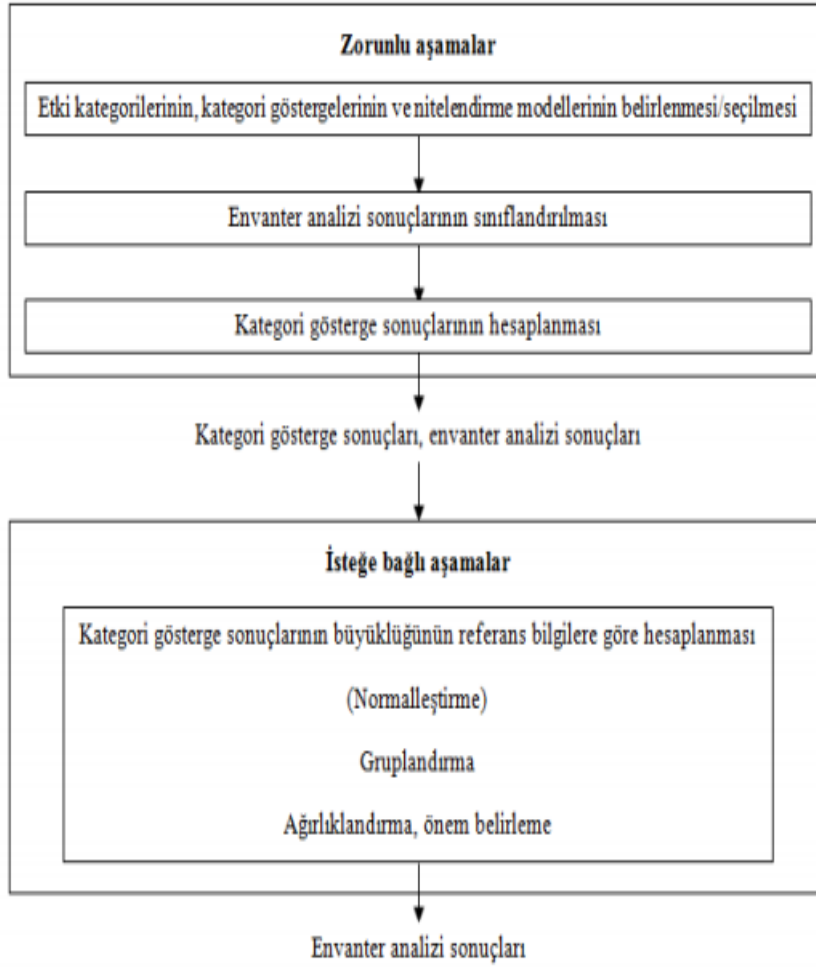


Şekil 4. Envanter Analizinin Aşamaları ( ISO 14044, 2006)

### Etki değerlendirme

Yaşam döngüsü etki değerlendirme aşamasında, envanter analizi sonuçları kullanılarak olası çevresel etkilerin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. ISO 14040 standardına göre etki değerlendirme, zorunlu (kategori tanımlama, sınıflandırma, karakterizasyon) ve isteğe bağlı (normalizasyon, gruplandırma, ağırlıklandırma) aşamalardan oluşmaktadır. İlk aşamada, etki

kategorileri, kategori göstergeleri ve karakterizasyon modelleri seçilmektedir (ISO, 2006a). YDD çalışmalarında genel olarak kullanılan etki kategorileri ve açıklamaları Tablo 1.'de verilmiştir. Sınıflandırma aşamasında, envanter analizi aşamasında belirlenen her bir çevre boyutu etki kategorileri ile ilişkilendirilmekte ve tüm emisyonlar çevre üzerindeki etkilerine göre sınıflara ayrılmaktadır (Çankaya ve Pekey, 2015).



Şekil 5. Etki Değerlendirmesi Aşamaları ( ISO 14044, 2006)

Etki değerlendirmesini oluşturan basamaklar Şekil 5’te gösterilmiştir. Etki değerlendirmesinde, envanter analizi sonuçları, etki kategorilerine göre sınıflandırılarak her bir etki kategorisi için, yaşam boyu etki kategorisi seçilerek kategori gösterge sonucu hesaplanmaktadır. Gösterge sonuçlarının toplanmasıyla veya etki değerlendirmesi ile profili ürün sisteminin girdi ve

çıktıları ile bağlantılı çevresel konulara ilişki bilgi sağlanmaktadır. Emisyonlar ve etki kategorileri arasındaki ilişki Şekil 6’da verilmiştir. Burada sera gazı etkisine ya da ozon tabakası tahribatına katkısı olan kimyasallar iki sınıfa ayrılmakta; azot oksitler (NO<sub>x</sub>) gibi emisyonlar ise aynı anda sucul toksisite, asit yağmurları, ötrofikasyon gibi çeşitli sınıflar ile ilgili olmaktadır.



**Tablo 1.** YDD Çalışmalarında Kullanılan Etki Kategorileri (Çankaya, 2018)

Etki kategorisi	Envanter verilerine Örnekler (sınıflandırma)	Olası karakterizasyon faktörü /Referans bileşik (Hakyemez, 2016)	Etki kategorisinin açıklanması
Fotokimyasal ozon oluşumu	Metan olmayan HC'lar	Fotokimyasal oksidan oluşturma potansiyeli	Smog olarak da adlandırılmaktadır güneş ışığının etkisiyle uçucu organik bileşiklerin NO <sub>2</sub> varlığında ayrışmasıyla oluşmaktadır
Karasal Toksite	Kemirgenlere olan öldürücü konsantrasyonu raporlanmış zehirli kimyasallar	LC <sub>50</sub> kg Triethylene glycol toprağa	Ekotoksosite karada ve suda etkili zehirli ağır metaller ve bazı organik bileşikleri içermektedir.
Sucul Toksite	Balıklara olan öldürücü konsantrasyonu tanımlanmış zehirli kimyasallar	LC <sub>50</sub> kg Triethylene glycol suya	
Arazi Kullanımı	Diğer arazi değişiklikleri veya düzenli bir depolama sahasının kullanılma miktarı		Arazi dönüşümü ve arazi işgalinden dolayı biyoçeşitlilik azalarak ekosistem kalitesi değişmektedir.
Küresel Isınma	CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CFCs, HCFCs, Metil Bromül (CH <sub>3</sub> Br)	Küresel ısınma potansiyeli / kg CO <sub>2</sub> , havaya-	Sera gazı etkisi olarak adlandırılan küresel ısınma alt atmosferdeki sıcaklığın artışı ifade etmektedir.
Stratosferik Ozon Tabakası	CFCs, HCFCs, Halon Metil Bromür (CH <sub>3</sub> Br)	Ozon tüketimi potansiyeli /kg CFC-11 havaya	İnsan aktivitelerine bağlı olarak ozon tabakasındaki incelmedir. Bunun sonucunda yüksek oranda UV-B radyasyonu atmosfere girerek insan sağlığı ve ekosisteme olumsuz etki yaratır.
Asidifikasyon	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , HCl, HF, NH <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S	Asidifikasyon potansiyeli kg SO <sub>2</sub> havaya	Asidifikasyona neden olan kirleticilerin ekosistemle, yüzey suları, toprak ve biyolojik organizmalar üzerinde birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır
Ötrofikasyon	PO <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , NO, Hidratlar, NH <sub>4</sub>	Ötrofikasyon potansiyeli, kg PO <sub>4</sub> , suya	Ötrofikasyon sucul ekosistemlerdeki plankton ve alglerin artmasıyla birlikte nutrientlerin zenginleşmesi anlamına gelmektedir. Ötrofikasyona neden olan temel elementler Azot ve Fosfordur.

**Yapı sektöründe YDD yapı sektöründe veri çözümlemesi (YVDÇ)**  
YDVÇ aşamasında, yapı ürün sistemindeki girdiler ve çıktılara ilişkin

veri toplama ve hesaplama yöntemleri oluşturulur ayrıca sistem sınırlarının kesin olarak belirlenir. Bu aşamada, yapı ürün sistemi amaç ve kapsamda

tanımlanmış olduğundan sistemin sınırlarındaki birim işlemlerle ilgili enerji, su, hammadde, malzeme vb. kaynaklar gibi girdiler ve hava, su ve toprağa salımlar, su esaslı ve katı atıklar ile yan ürünler çıktılarıyla ilgili verilerin toplanması gerekmektedir. Kapsamlı ve uzun süreç gerektiren bir çalışmayla yeterli miktarda ve kaliteli toplanması gerekmektedir. Bu süreçte, sistematik olarak ve hızlıca verilerin toplanması gerektiğinden çalışmaya özel veri toplama yöntemleri geliştirilebilir ama bu durum çalışmanın amacına ulaşamamasına yol açabilecek bazı kısıtlar veya yeni veri ihtiyacını da ortaya çıkartabilmektedir. Bu durumda, veri toplama yönteminde ya da çalışmanın amaç ve kapsam tanımlarında bir revizyona gidilmesi gerekmektedir. YDD ileri veya geri beslemeli ve tekrarlanabilir bir yöntem olmasından dolayı yeni veri gereksinimleri ve kısıtlar doğrultusunda çalışmasının amaç ve kapsamı değiştirilebilmektedir (Gültekin ve Çelebi, 2016). ISO 14040’da oluşturulan amaç ve kapsam tanımları doğrultusunda elde edilen veriler yeterli miktarda ve yeterli kalitede olduğu onaylandıktan

sonra yine çalışmanın amaç ve kapsamına uygun olarak derlenmeli ve niceliksel olarak hesaplanmalıdır (ISO, 2002)

### **Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED)**

YDVÇ ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda YDED’ye yani yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilip analiz edildiği aşamaya geçilir. Bu değerlendirmede zorunlu elemanlar akışı etki sınıfları seçilir, sınıf göstergelerini saptanır ve tanımlama modelleri oluşturulur. Çevresel etkilerin sınıflandırılmasında YDVÇ’den alınan veriler geri besleme ile yeniden düzenleir ve etki sınıflarına atanır. ISO 14040’a göre çevresel etki sınıfları sınıf göstergelerine ve her r sınıf göstergesi de sınıf uç noktalarına dönüştürülebilmektedir. Sınıf göstergeler etki sınıflarının son-uçlarını; sınıf uç noktaları ise korunmaya alınması gereken alanları tanımlamaktadır. Şekil 6’de farklı kaynaklardan derlenmiş olan olası etki sınıfları ile bu etki sınıflarının olası göstergeleri ve uç noktaları (endpoint) belirtilmektedir (Gültekin ve Çelebi, 2016).

ETKİ SINIFI	SINIF GÖSTERGESİ	SINIF UÇ NOKTASI
İklim Değişikliği	Küresel ısınma, çölleşme, çeşitli hastalıklar	İnsan sağlığı, mercan kayaları, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, sucul ve karasal canlılar
Stratosferdeki Ozon Tükенimi	Ozon tabakasının delinmesi, çeşitli hastalıklar	İnsan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, insan cildi, sucul ve karasal canlılar
Asitleşme	Asit yağmurları, çeşitli hastalıklar	İnsan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, sucul ve karasal canlılar, yapılar
Besin Birikimi	Sulardaki oksijenin azalması	İnsan sağlığı, sucul canlılar
İnsan Zehirlenmesi	Zihinsel bozukluk, kanser, sarılık, siroz, astım, alerji, böbrek yetmezliği, kemik deformasyonu, kemik erimesi	İnsan sağlığı
Ekolojik Zehirlenme	Bitki ve hayvan türlerinin tüketimi	İnsan sağlığı, mercan kayaları, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, sucul ve karasal canlılar
Kaynak Tükенimi	Kuraklık, çölleşme, bitki ve hayvan türlerinin tüketimi	İnsan sağlığı, mercan kayaları, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, sucul ve karasal canlılar
Fotokimyasal Oksit Oluşumu	Sis, çeşitli hastalıklar, bitki türlerinin tüketimi	İnsan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri
Kirlilik (Hava, Su, Toprak)	Bitki ve hayvan türlerinin tüketimi, çölleşme, çeşitli hastalıklar	İnsan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, sucul ve karasal canlılar
Biyoçeşitliliğin Zarar Görmesi	Bitki ve hayvan türlerinin tüketimi	İnsan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, sucul ve karasal canlılar

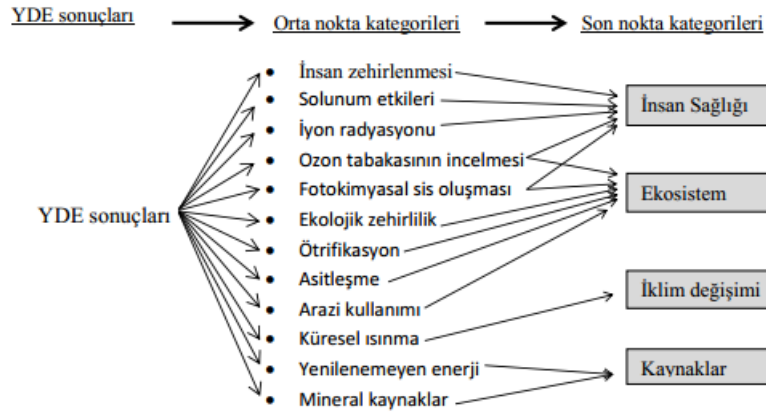
Şekil 6. Etki Sınıflarının olası sınıf göstergeleri ve sınıf uç noktaları (Gültekin ve Çelebi, 2016)

Şekil 6’de gösterilen etki sınıfları gösterilmiştir bu doğrultuda oluşturulacak bir model kapsamında hesaplanarak sınıf göstergelerine dönüştürülebilmektedir. Hesaplama, etki sınıflarının sonuçlarının ortak birimlere dönüştürülerek sunulması şeklinde olmaktadır. Bu dönüştürme işlemi için yeni hesaplama yöntemleri oluşturmak mümkündür ya da mevcut hesaplama yöntemleri veya YDED’nin zorunlu olmayan üç elemanı kullanılabilir bunlar: normalleştirme, gruplandırma ve ağırlıklandırma. Normalleştirme ile sınıf gösterge sonuçlarının büyüklükleri hesaplanmaktadır; gruplandırmada etki sınıfları niteliklerine göre sınıflandırılır ya da derecelendirilir; ağırlıklandırmada ise değer ölçütlerine dayalı sayısal katsayılar kullanılarak etki sınıflarının

sonuçları tek boyutlu bir değere dönüştürülmektedir (Gültekin ve Çelebi, 2016).

YDED modellerinde farklı yaklaşımlar görülmektedir. Bunlar ( Jolliet vd., 2003: aktaran Öztaş, 2014):

- Orta nokta yaklaşım modelleri:** Envanter analizi ile elde edilen çevresel veriler sınıflandırılır ve nicel hesaplamalar yapılır.
- Son nokta yaklaşım modelleri:** Dönüştürme katsayıları, kaynakların tüketilmesi, ekosistem ve insan sağlığının zarar görmesi gibi kategorilere ayrılır. Hasar odaklı yaklaşımdır.
- Orta nokta ve son nokta yaklaşımını birleştirilen yaklaşım modelleri:**



Şekil 7. YDE Sonuçlarının Orta ve Son Nokta Çevresel Etki Kategorileri ile İlişkisi (Öztaş, 2014)

Son nokta yaklaşımında çevresel etkiler daha geniş bir kapsamda değerlendirildiğinden yüksek modelleme ve parametre belirsizlikleri oluşabilirken; orta nokta yaklaşımında ise daha az modelleme ve daha düşük parametre belirsizlikleri olduğundan daha kesin bir yaklaşım olduğu belirtilmektedir (Bare vd., 2000). Lijing ve diğ. (2008)'e göre son nokta yaklaşımında çevresel sorunların nihai zararları ortaya koyulmakta ve insan sağlığını korumak için uzun dönemli planların yapılabilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntemde ek olarak ağırlıklandırma adımıdaki belirsizlikler de azaltılabilmekte veya ortadan kaldırılabilir çünkü ağırlıklandırılacak çevresel etki kategori sayısı orta nokta yaklaşımından daha azdır ve bu kategorilerin anlamları da daha açıktır (Lijing vd., 2008).

#### Yaşam döngüsü yorumu (YDY)

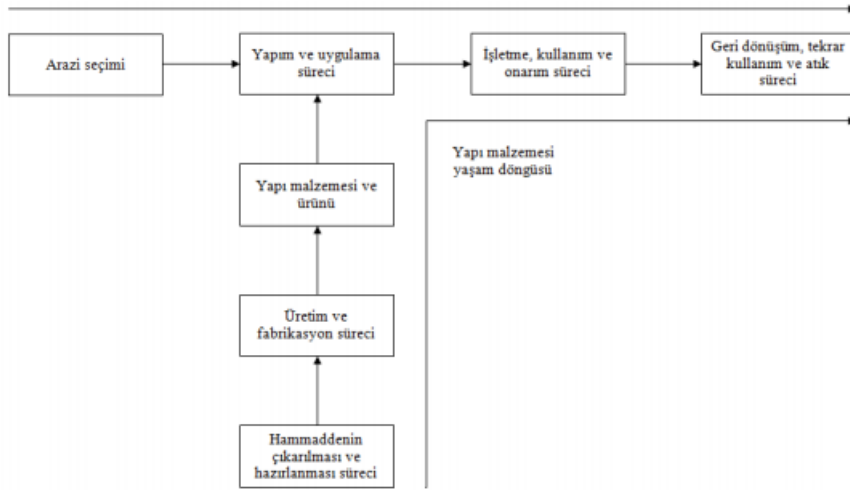
YDY, YDD'nin amaç ve kapsamı dikkate alınarak yapılmalıdır. YDY'nin amacı çalışmadaki kısıtları açıklama, elde edilen sonuçları ve istenen önerileri açık ve şeffaf bir rapor haline getirmektir. Böylelikle çalışmanın daha kolay anlaşılması mümkün olabilecektir. ISO 14040'ta YDY, önemli konuların tanıtımı, değerlendirmesi, eleştirel gözden geçirilmesi ve rapor

hazırlanmasını kapsamaktadır. Önemli konuların tanıtımı, bilgilerinin tanımlanmasını ve yapılandırılmasını gerektirmektedir. YDD çalışmalarında işlevsel birim ve birim işlemler dikkate alınmalı ve bilgiler tanımlanmalıdır. Ayrıca, YDD aşamalarına uygun olarak yapılandırılmalıdır. Yapılandırma kapsamında, YDVC'deki girdi ve çıktılar ile YDED sonuçları değer ölçütü, veri listesi, model, Tablo ve çubuk diyagramları şeklinde sunulabilmektedir. Bu aşamalarda önemli konuların belirlenmesi ise çalışma sonuçlarının güvenilirliğini artırması bakımından faydalı olabilmektedir (Gültekin ve Çelebi, 2016). ISO 14040 doğrultusunda saptanan önemli konuların değerlendirilebilmesi için bütünlük, hassasiyet ve uygunluk kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Bütünlük kontrolü ile YDY için gerekli olan bilgiler ve verilerin eksiksiz ve ulaşılabilir olmasını sağlanabilmektedir. Hassasiyet kontrolü ile çalışma sonuçlarının veriler, dağıtım yöntemleri ve veri kalite gereklerinin hesaplanmasındaki belirsizliklerden etkilenip etkilenmediği; uygunluk kontrolü ile çalışmadaki varsayım, yöntem ve verilerin amaç ve kapsam tanımlarına uygunluğu

değerlendirilmektedir. Bu aşamada, amaç ve kapsam tanımına göre çalışma eleştirel bir yaklaşımla gözden geçirilerek; yetkili kişilere, kuruluşlara, ilgili taraflara veya kamuya sunulmak üzere YDY sonuçlarını içeren şeffaf bir rapor hazırlanabilmektedir (Öztaş, 2014).

### Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü süreçleri

Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü süreçleri dört aşamalı bir süreçtir. Bunlar: hammaddenin elde edilmesi ve hazırlanması; üretim ve fabrikasyon; yapım, malzemenin kullanımı, geri dönüşümü ve atık süreçlerinden oluşmaktadır.



Şekil 8. Yapı Yaşam Döngüsü (kaynak: Demkin, 1996: aktaran Günaydın, 2011)

Üretime direkt katılan hammaddenin elde edilme ve hazırlanması sürecinde, üreticinin gereksinim duyduğu ara ürünler için hammaddenin işlenmesini de gerekli kılmaktadır. Bu işleme taşın ve minerallerin ezilmesi, öğütülmesi ve yakılması, cevherin zenginleştirilmesi, petrolün arıtılması, kimyasalların üretilmesi örnek gösterilebilir. Bu aşamada çevre ile ilgili konulara; doğal kaynak kullanımına, enerji ve su tüketimine, atık üretimi ile bunların sağlık ve çevre üzerindeki etkilerine dikkat edilmelidir (Demkin, 1998: aktaran. Günaydın, 2011). Üretim ve fabrikasyon sürecinde dağıtım ve kullanıma hazır olan nihai ürünün, hammaddenin elde edilmesinden, yarı ürün ve ürün üretilinceye kadar olan tüm işlemleri içermektedir. Bu aşamada

çevre sorunlarına; enerji ve su tüketimi ile atık üretimine dikkat edilmesi gerekmektedir. Yapı kullanım ve onarım sürecinde yapı ürünü inşaat alanına taşınır; binaya uygulanır, montajı yapılır; bakım gereksinimleri yapılır. Daha net bir ifadeyle ürünün dayanım ve faydalı ömrünü kapsamaktadır. Dayanım kavramı bazı sebeplerden ötürü karmaşık bir kavramdır söz gelimi çatı yapı malzemelerinin kullanım ömrü dış ortam şartlarından çok fazla etkilenmektedir. Burada dikkat edilecek çevre sorunları; yapı ürününün, montajı aşamasında çevreye ve iç ortam kalitesine verebileceği olumsuz etkilerdir. Diğer önemli bir konu da yapı malzemesinin, yapının enerji performansına olan etkisidir. Bu süreçte ortaya çıkan inşaat atıkları da ele alınması gereken ciddi bir sorun

olmaktadır (Demkin, 1998: aktaran: Günaydın, 2011). Geri dönüşüm süreci faydalı hizmet ömrünü tamamlamış olan yapı malzemesinin tekrar kullanımını kapsamaktadır. Yapı malzemesinin başka bir yapıda herhangi bir işlem yapılmadan yeniden kullanılması, onarılması, yenilenmesi ve yeniden değerlendirilmesi ya da imha edilmesini içermektedir. Tüm dünyada önemli bir çevresel ve ekonomik sorun oluşturan inşaat atıklarının dönüştürme işlemi; yapı bileşenlerinin karmaşıklığı artığında daha da güçleşmektedir hatta zehirli madde içeren bazı yapı ürünlerinin özel imha işlemlerinin uygulanmasını gerektirmektedir (Demkin, 1998: aktaran. Günaydın, 2011).

#### **Yapı Malzemeleri İçin YDD Yöntemi Araçları**

##### **LEED (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik)**

LEED, 1993'te Yeşil Bina Konseyi tarafından geliştirilen uluslararası arenada tanınmış yeşil bina sertifikasyon sistemi olup işletmeciler ve bina sahiplerine, uygulanabilir ve ölçülebilir yeşil bina tasarımının yapı, yönetim ve bakımı için çözüm geliştirilmesinde yardımcı olmaktadır. Bunun yanında LEED; enerji ve su tasarrufunda ve etkin kullanımında, CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasında, iç hava kalitesinin artırılmasında ölçütlerin tümü kullanılarak performansı geliştirmek için stratejiler uygulanarak inşa edilmiş ve tasarlanmış binalar için üçüncü taraf doğrulama sağlamaktadır (Kaya, 2001). LEED birçok bina tipolojisinde kullanılan esnek bir değerlendirme sistemidir ve binanın tüm yaşam döngüsünü kapsayan bir değerlendirme yapmaktadır. LEED değerlendirme sisteminin kullanıldığı binalar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Kaya, 2001).

- Yeni Yapı ve Büyük Yenilemeler

- Okullar
- Mahalle Gelişimi
- Perakende Satış Yerleri
- Sağlık Binaları
- Konutlar Ticari İç Mekânları
- Mevcut Binaları

##### **BREEM (Bina Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Yöntemi)**

BREEAM, dünyada en çok kullanılan bir çevresel değerlendirme yöntemidir. BREEAM, 1990'da, İngiltere'deki Bina Araştırma Kurumu (BRE)'nin geliştirdiği bir değerlendirme sistemidir. İlk başlangıç yıllarında, bu değerlendirme sistemi sadece ofisler ve konutlar için olmak üzere iki tip bina için oluşturulmuştur. Süreç içerisinde birçok farklı bina tipini de kapsamı artırılmıştır. BREEAM, aşağıda sıralanmış olan bina tiplerini değerlendirmesinde kullanılmaktadır.

- Mahkeme Salonu
- Eğitim Binası
- Endüstri Yapılar
- Sağlık Binası
- Ofis
- Hapishaneler
- Toplu Konutlar

BREEAM modelinde bir binanın çevresel etkileri değerlendirilerek olumsuz etkileri en asgari düzeye indirilmeye çalışır bu amaçla sürdürülebilir ve çevre dostu bina tasarımlarını ve yapımını teşvik eder. Breeam'ın amacı binaların yaşam döngüsünün çevre üzerindeki etkisini azaltarak binaların çevresel yararlarına göre tanınmasını sağlamaktır. Sürdürülebilir binalara olan talebi canlandırmaktır. (Breeam, 2011: aktaran Kılınçarslan, ve ark., 2019).

##### **SONUÇ ve ÖNERİLER**

Günümüzde yaşanan başlıca çevre sorunlarından olan küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon gibi insan sağlığına zararlı etkileri olan durumların

ortaya çıkmasında yapı malzemelerinin de önemli rolü bulunmaktadır. Yapı malzemelerin, yaşam döngüsünün her evresinde de bu sorunların oluşmasında zemin hazırlayan özellikler bulunmaktadır. Bu nedenle kullanılacak yapı malzemeleri seçilirken sadece teknolojik, estetik ve ekonomik özelliklerine değil, çevresel özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. YDD günümüzde kullanılan en yaygın çevresel etki değerlendirme yöntemlerinden biri olup ABD, İngiltere gibi birçok gelişmiş ülkede sürekli araştırma konusu olan ve gelişim gösteren bir yöntemdir. Türkiye’de ise bu alanda yapılan çalışmalar sınırlıdır halbuki çevreye duyarlı yapı malzemelerinin geliştirilmesi; küresel açıdan ekosistem ve insan sağlığıyla ilgili bir sorumluluk paylaşımı, bölgesel açıdan kaynakların verimli kullanımı demektir. YDD’nin en önemli evrelerinden olan YDED’de yapı malzemelerinin çevresel etkilerini hesaplanmaktadır. Türkiye’de gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde YDED evresinde bazı YDD araçlarının kullanıldığı görülmektedir. Yapı malzemelerinin diğer ürünlerden ayırıcı özellikleri kullanım süresinin uzun olması, çok farklı evrelere sahip olması ve çok farklı malzeme türlerinin olmasıdır. Bu nedenle YDD için modellerde kullanılacak verilerin toplanmasında süre, coğrafi bölge ve teknoloji bakımından belirsizliklerle sıklıkla karşılaşmaktadır. Yapı malzemelerinin çevresel etkileriyle ilgili değerlendirmelerde, kontrol ve iyileştirmelerin yapılabilmesi için çevresel verilerin elde edilmesi kritik önemdedir. Bu sorunun çözümü için bilimsel verilerin sağlanmasında uluslararası veri tabanlarından yararlanılarak “Ulusal Yaşam Dönüsü

Envanter Veritabanı” oluşturulması fayda sağlayabilir. Bu veri tabanı YDED evresi için gerekmektedir. YDE verileri bir yöntem kapsamında toplanmalı, verilere sistematik olarak ulaşılmak gerekmektedir bunun için TUİK ve ilgili bakanlıklardan gerekli çevresel verilerin sağlanmasında destek alınabilir. Yapı malzemesi sektörüne yönelik olarak YDE veri tabanının oluşturulmasında, yapı malzemesi üreten firmaların çevresel konularda duyarlılıklarının ve farkındalıklarının yükseltilmesi de oldukça önemli bir konudur. Çevresel etki kategorileri seçilirken ortak bir uzlaşmaya varılırsa, ülkeler arasında yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılabilmesi mümkün hale gelecektir. Yapı malzemelerinin yaşam döngülerinde oldukça etkili olan toz, gürültü, iyon radyasyonu gibi kategoriler için tanımlama modelleri ve kategori göstergeleri geliştirilerek bundan sonraki çalışmalarda da söz konusu kategorilerin de katılmasıyla model güncellenebilecektir. Dönüştürme katsayıları bölgeye ve ülkeye göre değişebileceği için, bu katsayıların hesaplanması çevresel uzmanlık gerektirdiğinden; tanımlama adımında, çevre mühendisliği veya çevresel konularda uzman kişilerle beraber çalışılması gerekmektedir. Çevresel etki kategorilerinin önem derecesi zamanla da değişebilmektedir. Türkiye için çevresel sorun yaratan önemli konulardan biri de suyun doğru şekilde kullanılmaması ve oluşan üretim atıklarının yeterli düzeyde ve etkili bir şekilde dönüştürülememesidir. Bu sorunların çözümü için suyun artırılmasında ve atıkların dönüştürülmesinde doğru, yeterli ve etkin teknolojilerinin kullanılması ve daha az atık oluşturacak tarzda üretim ve yapı yönetimlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada incelenen YDD yönteminin her bir yapı

malzemesinde kullanılması, çevresel etkilerin belirlenerek bu etkileri ortadan kaldırmak için çözüm önerileri getirilmesinde büyük fayda sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Adalberth, K. 1997. Energy use during the Life Cycle of Buildings: a Method. *Building Environment*, 32(4): 317-320.
- Banar, M., Çokaygil, Z. 2011. Life cycle comparison of floor covering materials: Vinyl Covering and Laminated Parquet Covering. *Politeknik Dergisi*, 14(3): 203-206.
- Bare, J.C., Hofstetter, P., Pennington, D.W., Haes, H.A. 2000. Life cycle impact assessment workshop summary midpoints versus endpoints: The Sacrifices and Benefits. *Life Cycle Impact Assessment*, 5(6): 319-326.
- Bribián, I.Z., Capilla, A.V., Usón, A.A. 2011. Life cycle assessment of building materials: Comparative Analysis of Energy And Environmental Impacts And Evaluation of The Eco-Efficiency Improvement Potential. *Building and Environment*, (46): 1133-1140.
- Cole, R.J., Kernan, P.C. 1996. Life-Cycle Energy Use in Office Buildings. *Building and Environment*, 31(4): 307-317.
- Çankaya, S. 2018. Çimento üretiminde çevresel sürdürülebilirlik için yaşam döngüsü değerlendirmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli, 137sf.
- Demirel, S., Öz, H.Ö., Çiner, F., Güneş, M. 2019. Türkiye'de atık malzemeden yapılmış kendiliğinden yerleşen harç üretiminin yaşamsal döngüsü analizi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2): 1-8.
- Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Suh, S. 2009. Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management* (91): 1-21.
- Gerilla, G., Teknomo, K., Hokao, K. 2007. An Environmental Assessment of Wood And Steel Reinforced Concrete Housing Construction. *Building and Environment* (42): 2778-2784.
- Gültekin, A.B., Çelebi, G. 2016. Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (3): 1-36.
- Günaydın, G. 2011. Sürdürülebilirlik kapsamında çevresel ürün bildirelerinin yapı sektöründe uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 91s.
- Hossaina, U., Poona, C.S., Lo, I.M., Cheng, J.C. 2016. Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong Case Study. *Resources, Conservation and Recycling* (120): 199-208.
- Hozatlı, B., Günerhan, H. 2015. Muğla ili koşullarında betonarme ve ahşap iskeletli binalara ait yaşam döngüsü analizi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 56(660): 52-60.
- ISO. 2002. Environmental management-life cycle assessment-data documentation format. *ISO/TS 14048*: 1-87.
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., Rosenbaum, R. 2003. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*, 8 (6): 324-330.
- Kaya, K. 2001. Sürdürülebilir binalar için çevresel ürün bildirimine sahip yapı malzemeleri konusunda türkiye'de mevcut durumun irdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü. İstanbul, 81s.
- Kılınçarslan, Ş., Şimşek, Y., Uygun, E., Mert Akoğlu, B.C., Tufan, M.Z.,



- Turan, U. 2019. Sürdürülebilir yapı malzemeleri açısından bina sertifikasyon sistemlerinin incelenmesi. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 3(1): 1-14.
- Li, C., Cui, S., Nie, Z., Gong, X., Wang, Z., Itsubo, N. 2015. The LCA of portland cement production in China. The International Journal of Life Cycle, 20 (1): 117-127.
- Lijing, G., Borong, L., Daojin, G., YingXin, Z. 2008. An endpoint damage oriented model for life cycle environmental impact assessment of buildings in China. Chinese Science Bulletin, 53 (23): 3762-3769.
- Öztaş, S.K. 2014. Türk yapı malzemesi sektörü için yaşam döngüsü etki değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 152s
- Ramesh, T., Prakash, R., Shukla, K. 2012. Life Cycle Energy Analysis of A Residential Building with Different Envelopes And Climates In Indian Context. Applied Energy (89): 193-202.
- Taygun, G.T. 2005. Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 200s.
- Tufan, M.Z., Özel, C. 2018. Sürdürülebilirlik kavramı ve yapı malzemeleri için sürdürülebilirlik kriterleri. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 2(1): 9-13.