

**ISI YALITIM MALZEMELERİNİN  
YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİYLE  
ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Canay ÇAMUR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MİMARLIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MART 2010  
ANKARA**

Canay ÇAMUR tarafından hazırlanan ISI YALITIM MALZEMELERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİYLE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ .....

Tez Danışmanı, Mimarlık Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Pınar DİNÇ .....

Mimarlık Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ .....

Mimarlık Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN .....

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL .....

Mimarlık Anabilim Dalı, Karabük Ü.

Öğr. Gör. Dr. Ayşem Berrin ÇAKMAKLI ZEYTUN .....

Mimarlık Anabilim Dalı, ODTÜ

Tarih : 12 / 03 / 2010

Bu tez ile G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Canay ÇAMUR

**ISI YALITIM MALZEMELERİNİN  
YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİYLE  
ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Canay ÇAMUR**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Mart 2010**

**ÖZET**

Binalar ve binalarda kullanılan yapı malzemelerinin yaşamları boyunca çevreye olumsuz etkileri olmaktadır. Çevreye duyarlı yaklaşımlar ile binaların üretilmesi için bu çevresel etkilerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) bu noktada ortaya çıkan, malzemelerin veya hizmetlerin yaşam boyunca tüm evrelerindeki çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmanın amacı, enerji korunumunda önemli bir yere sahip olan ve binalarda yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemelerinden ekspande polistren (EPS) ile buna alternatif olarak kullanılacak taş yününün beşikten kapıya (cradle to gate) olan süreçte hangisinin daha çevre dostu olduğunu ortaya koymaktır. Yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri GaBi 4 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, EPS'nin çevresel etkileri incelenen tüm çevresel etki sınıfları için taş yününe göre daha az bulunmuştur. Ayrıca, çevresel etkilerin en çok üretim evresinde olduğu görülmüştür. Çalışma yapı malzemelerinin seçiminde çevresel ölçütlerin önemini vurgulamaktadır.

**Bilim Kodu : 804.1.100**

**Anahtar Kelimeler : Yaşam döngüsü değerlendirme, çevresel etki, ısı yalıtım malzemeleri, GaBi 4 yazılımı**

**Sayfa Adedi : 109**

**Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ**

**ENVIRONMENTAL EVALUATION OF THERMAL  
INSULATION MATERIALS  
BY LIFE CYCLE ASSESSMENT METHODOLOGY  
(M.Sc. Thesis)**

**Canay ÇAMUR**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**March 2010**

**ABSTRACT**

**Buildings and construction materials used in buildings contribute to negative environmental impacts during their life cycles. These environmental impacts caused by buildings should be evaluated for producing environmental sensitive buildings. Life cycle assessment (LCA) is a methodology used for assessing the environmental performance of materials or services over their life time. The aim of this study is to present whether the expanded polystyrene (EPS) or stone wool, having great importance in energy conservation and widely used in the buildings, are more environmental during their cradle to gate stage. Environmental impacts of insulation materials were evaluated by GaBi 4 software tool. Finally, the environmental impacts of EPS were found to be less than the stone wool for all analyzed environmental impacts categories. Moreover, it was shown that environmental effects were resulted mainly from manufacturing stage. This study emphasized the importance of environmental criteria on the selection of building materials.**

**Science Code : 804.1.100**  
**Key Words : Life cycle assessment, environmental impact, thermal insulation materials, GaBi 4 software tool**  
**Page Number : 109**  
**Adviser : Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Gülser ÇELEBİ'ye, yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	9
2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) Yöntemi.....	9
2.2. YDD'nin Tanımı, İlkeleri ve Amacı.....	10
2.3. YDD'nin Tarihçesi.....	13
2.4. YDD Üzerine Çalışan Kurumlar.....	15
2.4.1. SETAC.....	16
2.4.2. ISO.....	16
2.4.3. UNEP.....	17
2.5. YDD'nin Uygulama Alanları ve Kullanıcıları.....	18
2.6. YDD'nin Sınırlılıkları.....	22
2.7. YDD Yönteminin Çerçevesi.....	24
2.7.1. Amaç ve kapsam tanımı-AKT.....	25
2.7.2. Yaşam döngüsü veri çözümlemesi-YDVÇ.....	30

**Sayfa**

2.7.3. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi-YDED.....	32
2.7.4. Yaşam döngüsü yorumu-YDY.....	39
2.8. YDD İle Binaların Çevresel Etkilerini Ölçen Değerlendirme Yöntemleri....	41
2.9. YDD'nin Yapı Malzeme ve Bileşenlerinde veya Tüm Binada Kullanımı....	47
2.9.1. Binanın yaşam döngüsü .....	48
2.9.2. Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü.....	49
2.9.3.YDD'nin uygulandığı çalışmalar (Case Studies).....	52
2.9.4.YDD uygulanmış çalışmaların değerlendirilmesi.....	60
3. ISI YALITIM MALZEMELERİNİN YDD YÖNTEMİYLE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	63
3.1. Örnek Toplu Konut Projesi.....	64
3.2. Ekspande Polistren (EPS)'nin ve Taş yününün YDD Yöntemi Çerçevesi...	67
3.2.1. EPS ve taş yünü için amaç ve kapsam tanımı.....	67
3.2.2. EPS ve taş yünü için yaşam döngüsü veri çözümlemesi.....	71
3.2.3. EPS ve taş yünü için yaşam döngüsü etki değerlendirmesi..... ve yaşam döngüsü yorumu	79
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAKLAR.....	95
EKLER.....	103
EK-1 YDD yöntemi çerçevesindeki kavramlar.....	104
EK-2 GaBi 4'te EPS ve taş yünü için üretim işlem planları.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	109



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. ISO 14040 Standardları Serisi.....	17
Çizelge 2.2. Etki sınıflarının olası sınıf göstergeleri ve sınıf uç noktaları.....	34
Çizelge 2.3. YDD değerlendirme yöntemlerinin ülkelere göre dağılımı.....	42
Çizelge 2.4. İnşaat sektöründe uygulanan YDD'lerin özellikleri.....	57
Çizelge 3.1. BK tipine ait dış duvar açılımını gösteren ısı kaybı hesabı.....	66
Çizelge 3.2. 50 yıllık bir kullanım süresi için 1 m <sup>2</sup> K/W ısı direnci sağlamaya gerekli işlevsel birim (kg).....	69
Çizelge 3.3. EPS için veri tablosu.....	74
Çizelge 3.4. Taş yünü için veri tablosu.....	77
Çizelge 3.5. Seçilmiş etki sınıfları ve EPS ve taş yününün işlevsel birimleri için etki sınıf miktarları.....	80
Çizelge 3.6. Asitleşme potansiyeli hesabı.....	82
Çizelge 3.7. EPS ve taş yünü için normalleştirilmiş etki potansiyelleri.....	87
Çizelge 3.8. EPS ve taş yünü için ağırlıklandırılmış etki potansiyelleri.....	89

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Beşikten mezara yaklaşım.....	10
Şekil 2.2. YDD yönteminin çerçevesi ve kullanım alanları arasındaki ilişki.....	24
Şekil 2.3. Bir yapı ürünü sistemini oluşturan birim işlemler.....	28
Şekil 2.4. Yaşam döngüsü süreçlerinde girdiler ve çıktılar.....	31
Şekil 2.5. Birim işlemleri içeren akış şeması.....	32
Şekil 2.6. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin zorunlu elemanları ve “asitleşme” örneği.....	37
Şekil 2.7. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi aşamasında sınıflama ve tanımlama elemanları.....	38
Şekil 2.8. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi elemanları.....	39
Şekil 2.9. Bina yaşam döngüsünün geleneksel modeli.....	48
Şekil 2.10. Yapı malzemelerinin yaşam süreci .....	50
Şekil 2.11. Bir yapı malzemesinin yaşam sürecindeki sistem düzeyleri .....	51
Şekil 2.12. Malzemenin yaşam döngüsü .....	52
Şekil 3.1. BK tipine ait kısmi duvar detayı .....	65
Şekil 3.2. Beşikten kapıya ve beşikten mezara tanımları .....	70
Şekil 3.3. EPS’nin yaşam döngüsü şeması.....	72
Şekil 3.4. EPS’nin üretim şeması.....	73
Şekil 3.5. Taş yününün yaşam döngüsü.....	76
Şekil 3.6. EPS’nin üretim işlem planı.....	78
Şekil 3.7. Taş yününün üretim işlem planı .....	79
Şekil 3.8. Asitleşme potansiyeli için denklik faktörleri.....	81

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.9. EPS ve taş yününün asitleşme potansiyel etkisi.....	82
Şekil 3.10. EPS ve taş yününün besin birikimi potansiyel etkisi .....	83
Şekil 3.11. EPS ve taş yününün küresel ısınma potansiyel etkisi.....	83
Şekil 3.12. EPS ve taş yününün fotokimyasal oksit oluşumu potansiyel etkisi.....	84
Şekil 3.13. EPS ve taş yününün insan zehirlenme potansiyel etkisi.....	84
Şekil 3.14. GaBi 4 programında CML2001 metoduna göre normalleştirme ve ağırlıklandırma referans faktörleri.....	86
Şekil 3.15. EPS için normalleştirilmiş etki potansiyelleri.....	88
Şekil 3.16. Taş yünü için normalleştirilmiş etki potansiyelleri.....	88
Şekil 3.17. EPS için ağırlıklandırılmış etki potansiyelleri.....	90
Şekil 3.18. Taş yünü için ağırlıklandırılmış etki potansiyelleri.....	90

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>A</b>	Alan
<b>d</b>	Yoğunluk
<b>R</b>	Isıl direnç
<b>RF</b>	Referans faktörleri
$\lambda$	Isı iletkenlik beyan değeri
<b>W</b>	Watt
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AP</b>	Asitleşme Potansiyeli
<b>ASTM</b>	American Society of Testing and Materials
<b>BEES</b>	Building for Environmental and Economic Sustainability
<b>BOD</b>	Biochemical Oxygen Demand
<b>BRE</b>	Building Research Establishment
<b>COD</b>	Chemical Oxygen Demand
<b>EEA</b>	European Environmental Agency
<b>EMAS</b>	Eco Management and Auditing Scheme
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>EPD</b>	Environmental Product Declaration
<b>EPS</b>	Ekspande Polistren
<b>GBC</b>	Green Building Challenge
<b>ISO</b>	The International Organization for Standardization
<b>LCA</b>	Life Cycle Assessment

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>LCI</b>	Life Cycle Inventory Analysis
<b>LCIA</b>	Life Cycle Impact Assessment
<b>LEED</b>	Leadership in Energy and Environment Design
<b>NIST</b>	National Institute of Standards and Technology
<b>SETAC</b>	The Society of Environmental Toxicology and Chemistry
<b>TOKİ</b>	Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
<b>TSE</b>	Türk Standardları Enstitüsü
<b>UNEP</b>	United Nations Environment Development
<b>USGBC</b>	The U. S. Green Building Council
<b>VOC</b>	Volatile Organic Compounds
<b>WCED</b>	World Commission on Environment and Development
<b>XPS</b>	Ekstrüde polistren
<b>YDD</b>	Yaşam Döngüsü Değerlendirme
<b>YDVÇ</b>	Yaşam Döngüsü Veri Çözümlemesi
<b>YDED</b>	Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
<b>YDM</b>	Yaşam Döngüsü Maliyeti
<b>YDY</b>	Yaşam Döngüsü Yorumu

## 1. GİRİŞ

Dünyada doğal kaynakların bilinçsizce kullanılması ve çevresel sorunların giderek artması çevresel yönetimde kalitenin sağlanması ve sürdürülebilirlik konusunu önemli hale getirmektedir. “*Sürdürülebilirlik*” kavramı ilk kez Dünya Çevre ve Gelişme Komisyonu’nda (WCED-World Commission on Environment and Development) ele alınmış olup sürdürülebilir gelişme bu komisyonda şu şekilde tanımlanmaktadır [World Commission on Environment and Development, 1987];

“Şimdiki nesillerin ihtiyaçlarının, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan karşılanmasına olanak veren büyüme politikaları”.

Kohler ve Vollenbroek, sürdürülebilir gelişmenin ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutunun olduğunu ve bu alanlardaki gelişmelere bağlı olduğunu ifade etmektedir [Kohler, 1999; Vollenbroek, 2002]. Bu bağlamda ekolojik sürdürülebilirlik, kaynakların ve ekosistemin korunması; ekonomik sürdürülebilirlik, kaynakların uzun dönem kullanılabilirliği ve düşük kullanım bedelinin olması; sosyal sürdürülebilirlik ise insan sağlığı ve konforunun sağlanmasıyla ilişkilidir [Kohler, 1999; Çelebi ve Gültekin, 2007].

Sürdürülebilir gelişmenin sosyal, ekonomik ve çevresel boyutunun geliştirilmesi ise ilgiyi küresel olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde son derece aktif bir endüstri olan inşaat sektörüne çekmektedir. İnşaat sektörü sosyal ve ekonomik gelişime büyük oranda katkıda bulunurken kendisini destekleyen malzeme üretici sektörlerle birlikte hem fiziksel hem de biyolojik olarak doğal kaynakları en çok tüketen sektörlerin başında gelmektedir. Sosyal ve ekonomik olarak Avrupa Komisyonu’nun ifade ettiği üzere 11,8 milyon çalışan bu sektör içinde hizmet etmektedir ve Avrupa’nın en büyük endüstri işverenidir. Fakat çevresel açıdan bu sektör en yüksek enerji tüketiminin, katı atık oluşumunun, sera gazı salımının, dış ve iç ortam kirlenmesinin, çevresel hasarın ve ham madde tüketiminin sorumlusudur [European Commission, 2006; Ortiz ve ark, 2009]. İnşaat sektörü her yıl dünya ormanlarının %25’ini, küresel ekonomi içindeki %40 malzemeyi, 3 milyar ton

hammaddeyi tüketmektedir. Ayrıca sera gazlarının ve asit yağmurunun küresel çıktılarının %40-50'sine sebep olmaktadır [California Integrated Waste Management Board, 2000]. Bu durumda mimarlık disiplini içinde çevreye duyarlı yaklaşımlar ile sürdürülebilir binaların üretilmesi ve bina üretimi için yapı malzemelerinin, ürün veya sistemlerin performansının iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunun için binaların neden olduğu çevresel etkilerinin ölçülmesi, aynı etkilerin kaynaklarının standartlaştırılması ve “*toplam çevresel performansın*” hesaplanması gereklidir [Levin,1997].

Mimarlık disiplini içinde çevreye duyarlı yaklaşımlar ile binaların üretilmesi için mimarlara düşen görev çevreye saygılı, enerji tüketimini minimize eden, doğal kaynakların kullanımını azaltıp yenilenebilir ve yerel kaynaklar kullanan, sağlıklı iç mekânlar yaratan, güneş enerjisini, doğal havalandırma ve doğal aydınlatmayı maksimize eden yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir, sık sık bakım ve onarım gerektirmeyen malzemeler içeren tasarımlar yapmaktır [Çelebi ve Aydın, 2001].

Bina üretiminde yapı malzemelerinin yüksek üretim miktarları ve dünyada geniş bir alanda kullanılıyor olması, bu malzemelerin çevresel etkilerini önemli hale getirmektedir. Mimarlar için, mimari tasarımın nesnel girdileri olan yapı malzemelerinin özellikleri, türleri, uygulama koşulları, performansları kadar çevresel etkilerinin de bilinmesi zorunludur. Yapı malzemelerinin tasarımından yok edimine kadar olan süreçte alınan kararlar, nakliye aracı, kullanılan teknoloji, işçilik, yasal düzenlemeler, kullanım alışkanlıkları, sektör rekabeti, toplumsal eğilimler gibi çok yönlü etkenler yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin oluşumunda ve kontrolünde belirleyici olabilmektedir. Bu durumda malzemelerin çevresel etkilerini kontrol etme ve iyileştirme çabalarının ürün politikaları çerçevesinde ele alınması gerekmektedir [Şentürk, 2008]. Bu ürün politikalarından biri 2003 yılında Avrupa Komisyonu tarafından çıkarılan sürdürülebilir gelişme için gerekli olan yapı malzemelerinin çevresel etkileri ve oluşum enerjisi üzerine bilgileri içeren “Bütünleşik Ürün Politikaları” (Integrated Product Policy-IPP) dır [European Commission, 2009]. Bu politikanın amacı inşaat sektöründeki ürünler içinden tüm

yaşam döngüsünü ele alarak en yüksek çevresel etki potansiyeline sahip olanlarını belirlemek ve ürünlerin çevresel etkilerini azaltmaktır. IPP'nin uygulamasında çevresel ürün bildireleri (Environmental Product Declaration-EPD) ve eko tasarım stratejileri kullanılmaktadır. Çevresel ürün bildireleri ürünün dış dünyayla olan iletişimi için kullanılmakta ve ürünün çevresel etkilerinin azaltılmasını teşvik etmektedir. Eko tasarım ise ürün ile çevre arasındaki ilişkiye bakmakta ve farklı yaşam döngüsü süreçleri boyunca çevresel etkilerin azaltılması tekniklerini özetlemektedir. Çevresel etkilerin azaltılması için kullanılan her iki strateji de temelinde yaşam döngüsü değerlendirme yöntemine dayanmaktadır.

“Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD)” yöntemi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan kaynak tüketimini engellemek ve çevresel etkileri ortaya koymak için inşaat sektöründe sürdürülebilirliğin geliştirilmesinde kullanılmaktadır [Ortiz ve ark., 2009].

YDD ile ürün veya sistem içindeki malzeme ve enerji miktarının hesaplanması sağlanırken aynı zamanda bunlarla ilişkili çevresel etkilerde ölçülmektedir [Asif ve ark., 2005]. YDD, sadece çevreyi iyileştirmek için bir araç değil aynı zamanda maliyet tasarrufu ve rekabete dayalı fırsatlar isteyen endüstri için de bir gereçtir. En büyük avantajı bilimsel bilgi ve rekabet ile kararların desteklenmesidir [Jensen ve ark., 1997].

İnşaat sektöründe YDD yöntemi uygulaması incelendiğinde yöntemin yapı malzemeleri, tek bir bina veya bina grubuna doğrudan uygulanabilmekte olduğu gözlenmektedir. Fakat binalar herhangi bir ürüne benzemediği için YDD yönteminin uygulanmasını zorlaştıran birçok özelliğe sahiptir. Binaların uzun ve belirsiz olan ortalama hizmet ömrü değerlendirme sonuçlarının doğruluğunu etkilerken binaların belli bir alanda inşa edilmesinden dolayı birçok çevresel etkisi yerel özelliklere bağlı olarak değişmektedir [Çakmaklı, 2007; IEA-BCS Annex 31, 2001]. Kohler ve Moffatt'a göre tek bir bina her biri kendi yaşam süresine ve kendine özgü üretim/bakım-kullanım/atık işlemlerine sahip 60 temel malzemedenden ve yaklaşık 2000 bağımsız üründen oluşabilmektedir. Bu kadar geniş çapta malzeme içeriğine sahip



olan belirli bir bina için veri toplama ve bu verilerin dağıtım kararları ise birçok tasarım ekibi ve karar verenlerin gözetimi dışında olmaktadır. Bu da konuyu karmaşık hale getirmektedir. Ayrıca binaların uzun ömrü tipik olarak birçok malzeme ve enerjinin, özellikle de işletim evresinde tüketilmesine neden olmaktadır. Böylece yaşam döngüsündeki kaynak akışının büyük kısmı yüksek oranda kurgusal varsayımlardan etkilenmektedir [Kohler ve Moffatt, 2003]. Sonuç olarak tüm bir binanın yaşam döngüsünde çevresel etkilerinin belirlenmesi birçok etkene bağlı olmakta ve sonuçların güvenilirliğini etkilemektedir.

Kaynaklarda YDD yönteminin uygulandığı çalışmaların yapıldığı ülkeler incelendiğinde, YDD yönteminin daha çok gelişmiş ülkelerde uygulandığı, gelişmekte olan ülkelerde ise fazla uygulamanın olmadığı gözlemlenmektedir. Türkiye’de de YDD üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Daha önce YDD yönteminin uygulandığı çalışmalarda konutların çevresel etkilerine yönelik araştırmaların sayısının daha fazla olduğu görülmektedir. Konutlara bu derece önem verilmiş olmasının nedeni istatistiksel verilere göre inşaatların tüm dünyada %60’dan, Türkiye’de %79’dan daha fazlasını konut birimleri içermektedir [Bozkurt, 2007]. Konut birimleri hızlı bir şekilde giderek artarken bunların inşa edilmesi sonucu oluşan çevresel etkiler de artmakta fakat buna karşın bu çevresel etkiler çok fazla bilinmemektedir.

Teknolojik olanakların artmasına bağlı olarak sağlıklı ve konforlu ortamlarda yaşama isteğiyle beraber zaman içerisinde enerji kaynaklarındaki azalma sürdürülebilir mimarlığın alt grup ilkelerinden enerji korunumu [Kim ve Ringdon, 1998b] konusunda durulmasını gerektirmiştir [Oral, 2007]. Enerjinin korunması ile çevrenin de korunması ve çevreye olan etkinin azaltılması sağlanmaktadır. Ayrıca enerjinin korunması yeniden kazanılması söz konusu olmayan bir binada enerji kaynaklarının daha az tüketilmesi, fosil yakıt bağımlılığının azaltılması, yenilenebilir kaynaklardan yararlanılmasını içermektedir. Binalarda enerji korunumunu sağlamak için gereken yöntemler Kim’in çalışmasında; enerji-bilinçli kent planlanması, enerji bilinçli arazi planlanması, alternatif enerji kaynaklarının kullanılması, pasif iklimlendirme

kurallarının uygulanması, ısı yalıtımı yapılması, gün ışığından yararlanılması, enerji etkin donanımların kullanılması, düşük enerji kullanılarak üretilen malzemelerin kullanılması başlıkları altında değerlendirilmektedir [Kim ve Ringdon, 1998b]. Oral ise çalışmasında enerji etkin bina tasarımında etkili olan parametreleri ele almıştır. Bu parametrelerin kullanıcıya ilişkin, dış çevreye ilişkin ve binaya ilişkin parametreler olarak üç kısımda incelenebileceğini ve binaya ilişkin parametrelerin binanın bulunduğu yer, yönlendirme durumu, bina formu, bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, güneş kontrolü ve doğal havalandırma sistemlerini içerdiğini vurgulamıştır [Oral, 2007].

Genel anlamda ülkemizde bina tasarımları incelendiğinde yukarıda belirtilen bina parametrelerinin göz ardı edildiği görülmektedir. Ancak TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı [Türk Standartları Enstitüsü (TSE), “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, TS 825, Ankara, 1-71(1998)] ve 08 Mayıs 2000 tarihinde yayımlanan “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği” nin [Binalarda Isı yalıtımı Yönetmeliği, 24043 sayılı Resmi Gazete (08.05.2000)] yürürlüğe girmesi ile birlikte binalarda enerji korunumunu sağlamak için binalarda ısı yalıtımı uygulaması zorunlu hale getirilmiştir. Türkiye’de binalarda ısı yalıtım malzemesi olarak camyünü, taş yünü, ekspande polistren (EPS) ve ekstrüde polistren (XPS) yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı yalıtım malzemelerinin temel amacı yapı elemanlarının ısı iletim direncini artırmaktır. Bu sebeple yalıtım malzemeleri konusunda ısı iletkenlik değeri özellikle üzerinde durulması gereken bir husustur [İZODER, 2009]. Ancak ısı yalıtım malzemeleri yaşam döngüleri boyunca çeşitli çevresel etkilere neden olmakta ve bu çevresel etkiler malzemenin malzemeye farklılık göstermektedir. Isı yalıtım malzemelerinin çevresel açıdan değerlendirilmesi için çevresel göstergelere göre analiz edilmesi gerekmektedir. Fakat bu değerlendirmenin karmaşık bir süreç olması nedeniyle bir yazılım programı desteğine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tezin amacı, yukarıdaki belirtilen sorunlar neticesinde daha önce ülkemizde ele alınmamış bir konu olması nedeniyle de inşaat sektöründe önemli bir yere sahip olan binalarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin yaşam döngüleri boyunca oluşan olası çevresel etkilerinin YDD yöntemi ile değerlendirilmesidir. Isı yalıtım malzemeleri

bir yandan enerji kaynaklarının korunması ve bununla ilişkili olarak fosil yakıtların yanması sonucunda oluşan hava kirliliğinin azaltılmasını sağlarken diğer yandan binalarda üretim evresinden başlayarak yaşam döngüleri boyunca çeşitli çevresel etkilere neden olmaktadır. Bu çalışma ile iki farklı tip ısı yalıtım malzemesinin organik köpük EPS ile inorganik lifli taş yününün çevresel etkilerinin karşılaştırılması suretiyle malzemelerin hangisinin daha çevre dostu olduğu ortaya konacaktır.

Çalışmada örnek bir toplu konut projesinin duvarlarında kullanılan EPS ısı yalıtım malzemesi ile buna alternatif bir ısı yalıtım malzemesi olan taş yününün hammadde ediniminden başlayarak, inşaat alanına gelene kadar geçen süreçte beşikten kapıya (cradle to gate) çevresel etkileri karşılaştırmalı olarak Gazi Üniversitesi Rektörlüğü tarafından lisanslı olarak satın alınan ve YDD çalışmalarında yaygın olarak tercih edilen GaBi 4 yazılımı kullanılarak nicelendirilmekte ve ağırlıklı olarak hangi çevresel etkilerin oluştuğu ortaya konulmaktadır. Çalışma ile ilgili olarak verilere ve çizimlere Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı'ndan (TOKİ), ısı yalıtım malzemeleri üretici firmalarından, bu firmalara ait internet adreslerinden ve bu konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalardan ulaşılmaktadır. İlk olarak örnek konuta ait duvar detayı ve ısı yalıtım hesap raporu sunularak konuya ait genel bir bilgi verilecektir. Sonrasında konutta kullanılan EPS ısı yalıtım malzemesi ve buna alternatif olarak ele alınan taş yününe ait elde edilen veriler çalışma kapsamı içerisinde ortaya konulacak ve bu veriler yazılım programında kullanılarak EPS ve taş yününün çevresel etkileri grafiklerle ve sayısal değerlerle ifade edilecektir. Son olarak iki ısı yalıtım malzemesinin çevresel etkileri karşılaştırılarak yalıtım malzemeleri çevresel açıdan değerlendirilecektir.

Tez çalışmasının giriş bölümünde, sürdürülebilirlik, inşaat sektörü ve bu sektörün neden olduğu çevresel etkiler, mimarın bu alandaki sorumluluğu irdelenmekte ve binalardan kaynaklanan çevresel etkilerin YDD yöntemi ile değerlendirilebileceği belirtilmektedir. Bir binanın yaşam döngüsünün değişken verilere sahip olması nedeniyle tüm binanın YDD yöntemiyle değerlendirilmesinde sonuçların yanıltıcı olabileceği vurgulanmaktadır. YDD uygulanmış çalışmaların ülkemizde sınırlı

sayıda olduğu, inşa edilen binaların büyük bir kısmının konutlardan oluştuğu ve ülkemizde konutlardan kaynaklanan çevresel etkilerin çok fazla bilinmediği ifade edilmektedir. Aynı zamanda bu bölümde enerji korunumunun önemi belirtilerek ülkemizde binaların enerji etkin bina parametrelerine göre tasarlanmadığı, binalarda mecburi uygulanan ısı yalıtım malzemelerinde ısı iletkenlik değerine dikkat edilirken çevresel etkilerinin göz ardı edildiği sorunu ve ısı yalıtım malzemelerinin bir yazılım programı ile çevresel etkilerinin değerlendirilebileceği hususu ile tezin amaç ve kapsamı belirlenmektedir.

Giriş bölümünden sonra tezin amacına uygun olarak ikinci bölüm kaynak taramasını içermektedir.

İkinci bölümde, YDD'nin tanımı, ilkeleri, tarihçesi, bu konu üzerine çalışan kurumlar, uygulama alanları, yararları ve kullanıcıları, sınırlılıkları ve YDD yöntemi çerçevesi belirtilmektedir. Ayrıca bu bölümde YDD ile binaların çevresel etkilerini ölçen yöntemler hakkında bilgi verilmekte ve YDD'nin tüm binada veya yapı malzeme ve bileşenlerinde kullanımı irdelenmektedir. Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü ile binanın yaşam döngüsünün tanımı yapıldıktan sonra YDD yöntemi kullanılarak yapılmış çalışmalar ve değerlendirmeler ele alınmaktadır.

Üçüncü bölümde, toplu konutların duvarlarında kullanılan EPS ısı yalıtım malzemesi ile buna alternatif bir ısı yalıtım malzemesi olan taş yününün çalışmada irdelenen yaşam döngüsü içindeki evreleri boyunca oluşacak çevresel etkileri GaBi 4 yazılımı kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu bölümde ilk olarak örnek bir toplu konut projesi ele alınmaktadır. Bu projeye ait bilgilerin özetlenmesinden sonra EPS ve taş yününe ait genel bilgiler verilmektedir. Bu genel bilgilendirmeden sonra EPS ve taş yünü için YDD yöntemi çerçevesi ortaya konmakta ve bu doğrultuda iki yalıtım malzemesine ait veriler sunulurken bu verilerin GaBi 4 yazılımına girişi yapılmakta ve çevresel etkiler değerlendirilerek somut bilgilere ulaşılmaktadır. Bu somut bilgiler neticesinde iki ısı yalıtım malzemesinin çevresel etkileri karşılaştırılmakta ve çalışma yorumlanmaktadır.

Tezin son bölümünde, alan çalışmasının sonuçları tezin amacı kapsamında irdelenmekte ve bu sonuçların hangi amaç doğrultusunda kullanılabileceği belirtilmektedir. Bu çalışmanın gelecekteki çalışmalara rehber olması amacıyla önerilerde bulunmaktadır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

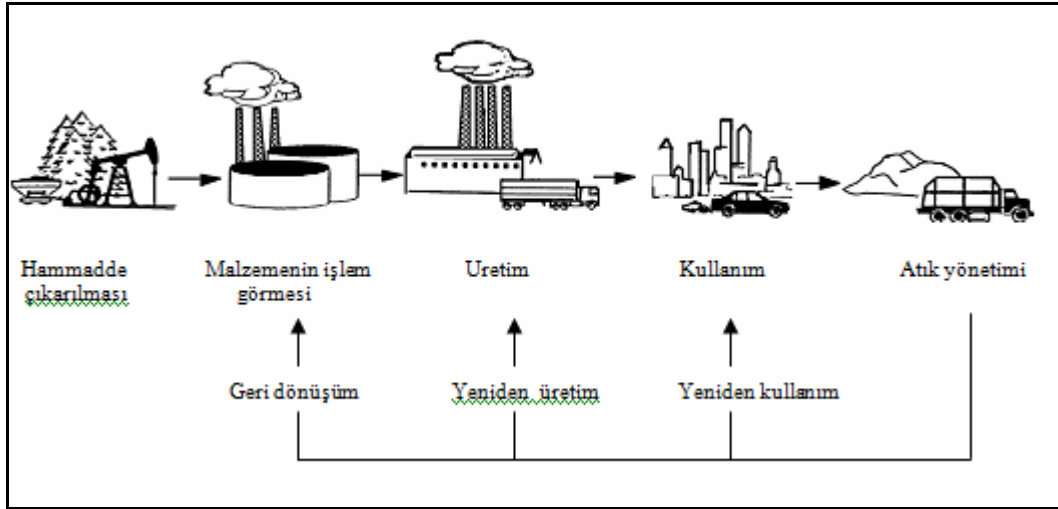
Çevre, canlı ve cansız çevreden oluşmaktadır. Yaşayan tüm organizmaların yaşamları içindeki bütün ilişkilerini kapsayan ortam canlı çevre (insan, hayvan, bitki, mikroorganizmalar), yaşamlarının olduğu ortamlar bütünü ise doğal (su, hava, toprak) ve yapma çevre (yapı, yapı ürünleri vb.) olmak üzere cansız çevre olarak tanımlanmaktadır [Tuna Taygun, 2005]. Dünyada çevreye olan ilgi, çevre kirliliğinin oluşmasında en önemli etkenlerden biri olan inşaat sektörüne olan ilgiyi de artırmaktadır. Bu doğrultuda diğer sektörler gibi inşaat sektörü de bazı yöntemlerle yapı malzemelerinin çevresel performansını denetlemeye başlamıştır. Bu yöntemlerden biri de endüstriyel ürünlerin çevresel etkilerinin yaşamları boyunca değerlendirilmesine yönelik olarak ortaya çıkan ancak zamanla yapı sektörü tarafından da benimsenen “Yaşam Döngüsü Değerlendirme - YDD (Life Cycle Assessment - LCA)” yöntemidir.

### 2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) Yöntemi

Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD), ürünlerin veya hizmetlerin yaşam boyunca tüm evrelerindeki çevresel etkilerinin değerlendirmesi için kullanılan bir yöntemdir. Endüstriyel ürünlerin çevresel etkilerinin yaşam döngüleri boyunca değerlendirilmesine yönelik ortaya çıkan YDD yöntemi, zamanla inşaat sektörü tarafından da benimsenmiştir. Yöntem hammaddenin çıkarılmasından, işlem görmesi, imalatı, taşınması, kullanımı ve son olarak malzemenin yeniden kullanılması, geri dönüşümü veya atık durumuna gelmesine kadar olan süreci “beşikten mezara” (cradle to grave) kapsamaktadır.

YDD, endüstriyel ürünleri değerlendirmek için “beşikten mezara” yaklaşım olarak da ifade edilmektedir. “Beşik”, ürün veya hizmetin üretiminde kullanılan hammaddenin çıkarılması ve üretilmesindeki gerekli olan enerjiyi bir başka ifadeyle doğadan sistem içerisine alınan hammadde ve kaynaklar için olan yer ve zamanı tanımlamaktadır. “Mezar” ise ürün ve kullanılan kaynakların doğaya geri döndüğü yer ve zamanı ifade

etmek için kullanılan bir kavramdır [Curran, 2006; Paulsen, 2001]. Şekil 2.1’de bu beşikten mezara yaklaşım sunulmaktadır.



Şekil 2.1. Beşikten mezara yaklaşım [Hunt ve Franklin, 1996]

YDD, “yaşam döngü analizi”, “yaşam döngü yaklaşımı”, “beşikten ölüme analiz” veya “ekolojik dengeleme” olarak da adlandırılmaktadır. Çevresel yönetimde ve uzun vadede sürdürülebilir gelişmenin sağlanmasına yardımcı olmada tasarlanan araç ve teknikleri içermektedir [Jensen ve ark, 1997].

YDD hakkındaki bu genel tanımlamadan sonra aşağıdaki bölümlerde YDD daha detaylı olarak ele alınmakta ilkeleri, amacı, tarihçesi, bu konuda çalışan kurumlar, uygulama alanları, kullanıcıları, sınırlılıkları, yöntem çerçevesi, YDD ile binaların çevresel etkileri ölçen değerlendirme yöntemleri, YDD’nin malzeme ve binalarda kullanımı, YDD uygulanmış çalışmalar ve bu çalışmaların değerlendirilmesine ilişkin bilgilere yer verilmektedir.

## 2.2.YDD’nin Tanımı, İlkeleri ve Amacı

YDD, ürün ve hizmetlerin beşikten mezara çevresel etkilerinin değerlendirildiği dinamik ve tekrarlanan bir değerlendirme işlemidir [Paulsen, 2001].

YDD üzerine en keskin tanımlamalardan biri Avrupa Çevre Ajansı (European Environmental Agency-EEA) tarafından yapılmış olup buna göre YDD [European Environmental Agency, 2009; Glavic ve Lukman, 2007];

“hammadde kullanım etkinliğinin artırılacağı ve yükümlülüklerin azaltılacağı, ürünün tüm yaşamı boyunca çevre üzerine etkisini değerlendirmek için metot/işlem”dir.

YDD, Çevresel Zehirlilik ve Kimya Topluluğu'nca (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry-SETAC) da tanımlanmaktadır. SETAC'a göre YDD [SETAC, 1993];

“ürün, işlem veya etkinlikle ilişkili enerji ve çevresel yüklerin değerlendirilmesi için, malzeme ve enerji kullanımının ve doğal çevreye bırakılan salımların tanımlanarak gerçekleştirildiği öznel bir yöntemdir. Değerlendirme ürün, işlem veya etkinliğin tüm yaşam döngüsü için hammaddenin çıkarılmasından ve işlem görmesinden, imalatı, nakli, dağıtımı, kullanımı, geri dönüşümü, geri kullanımı ve son olarak atık kısmı için gerçekleştirilir”.

Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (The International Organization for Standardization-ISO) tarafından hazırlanan ISO 14040'a göre ise YDD [ISO 14040, 1997];

“YDD, ürün (veya hizmet) ile ilişkilendirilen olası çevresel boyutların değerlendirilmesi için geçerli girdi ve çıktı verilerinin toplanması, bu girdi ve çıktılardan kaynaklanan olası çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve çalışmanın amacıyla ilişkili olarak veri ve etki safhalarının sonuçlarının yorumlanmasını içeren bir tekniktir”.

‘Dünya Zirvesi 2002’ tarafından YDD, faaliyet planında şu şekilde vurgulanmaktadır [Earth Summit 2002, 2002];

“ürün ve hizmetleri iyileştirmek için eğer uygunsa bilime bağlı yaklaşımlarla, örneğin yaşam döngü analizi gibi, çevresel ve sağlık etkilerinin azaltıldığı, üretim ve tüketim politikalarını geliştirmek”.



Kohler ve Moffat'a göre ise YDD tüme dayalı çevresel değerlendirme için en uygun yöntemdir [Kohler ve Moffat, 2003].

Scheuer ve Keoleian'e göre YDD, sistemdeki tüm malzeme ve enerji akışının nicelendirildiği ve değerlendirildiği kapsamlı bir yöntemdir. Genel anlamda ürün veya hizmet sisteminin, yukarı doğru (hammadde çıkarımı, üretim, nakliye ve yapım), kullanım ve aşağı doğru (yıkım ve atık) akışları araştırılmaktadır. Sonrasında küresel ve bölgesel etkiler enerji tüketimi, atık oluşumu ve birçok etki sınıfının serisine (örnek: küresel ısınma, asitleşme vb.) göre hesaplanmaktadır [Scheuer ve Keoleian, 2003].

YDD üzerine yapılan çeşitli tanımlamalardan sonra YDD'nin ilkeleri üç başlık altında toplanabilir [Arena ve Rosa, 2003; Curran, 2006; Glavic ve Lukman, 2007; Jensen ve ark, 1997; Scheuer ve Keoleian, 2002; Tuna Taygun, 2005]:

- Çevresel yüklerin tanımlanması ve miktarının belirtilmesi (örneğin tüketilen enerji ve hammadde ile atıkların üretimi),
- Olası çevresel yüklerin etkilerinin değerlendirilmesi,
- Çevresel yüklerden korunmak ve azaltmak için olası seçeneklerin değerlendirilmesi.

Yukarıdaki ilkeleri içeren YDD'nin kullanılmasının amacı ise:

- Doğal kaynakların korunması,
- Çevresel kirliliğin önlenmesi,
- Çevresel eşitliğin sağlanması,
- Çevre ile ilgili yasa ve yönetmeliklerin gelişmesi,
- Çevre yönetim sistemlerinde çevresel performans değerlendirmesinin gelişmesi,
- Çevreye duyarlı ürünlerin üretiminin sağlanması,
- Ürün gelişimi ve kullanımı sonucu oluşan toplam çevresel etkilerin ve sağlık risklerinin azaltılması olarak tanımlanabilir [Curran, 2006; Tuna Taygun, 2005].

Çevrenin ve doğal kaynakların korunmasında önemli bir yere sahip olan YDD, anlaşıldığı üzere birçok amaca hizmet etmektedir. Yukarıda sıralanan ilke ve amaçları kapsayan YDD yönteminin nasıl ortaya çıktığının ve tarihsel süreç içerisinde nasıl gelişme gösterdiğinin de bilinmesinde çalışma içerisinde fayda görülmektedir.

### 2.3. YDD'nin Tarihçesi

YDD'nin tarihçesine bakıldığında, ürünlerin ve malzemelerin yaşam döngülerinin ele alınmasına ait ilk çalışmalar 1960'ların sonu 1970'lerin başına dayanmakta olup bu çalışmalarda enerji etkinliği, hammaddenin tüketimi ve atıkların elden çıkarılması konuları üzerinde durulmuştur. 1969 yılında, örneğin Coca Cola şirketi içecek kutularının hammadde tüketimini ve çevresel atıklarını kıyaslama yapabilmek için bütçe ayırdığı çalışmada cam ve plastik kap arasındaki seçimde enerji konusunu ele almıştır [Jensen ve ark, 1997].

1970'lerde özellikle petrol krizinden sonra YDD endüstride enerji akışını izlemek ve yakıtın yaşam döngüsünü analiz etmek için projelerde kullanılmıştır. 1972 yılında, İngiltere'de Ian Boustead cam, plastik, çelik ve alüminyumdan oluşan çeşitli içecek kutularının üretiminde kullanılan toplam enerjiyi hesap etmiştir. Sonra çeşitli malzemelerde kullanılmak üzere Boustead bu yöntemi geliştirerek 1979'da *Endüstriyel Enerji Analizi El Kitabını* yayınlamıştır [Bozkurt, 2007; Jensen ve ark., 1997].

1975'lerde ABD ve İngiltere'de yaşanan petrol krizi enerjiye yönelik çalışmaların yapıldığı komisyonların oluşmasına neden olmuştur. Katı atıklar ve geri dönüşüm konuları ise 1980'lerde önemli olmaya ve gelişmeye başlamıştır. 1988 yılında, katı atıkların dünya çapında bir konu olmasıyla YDD yöntemi yine çevresel problemlerin analizinde ortaya çıkan bir araç olmuştur. Hammaddeyi ve çevrenin gelişimini ilgilendiren tüm alanlarda YDD yöntemi yeniden geliştirilmiştir [Tuna Taygun, 2005].

Bugün bildiğimiz YDD ise belli bir aşamaya kadar The Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) tarafından yaratılmıştır. Ağustos 1990'da, Smugglers Notch (Vermont) atölye çalışmasının raporu bugün hala geçerli olan yöntemin adı ve genel yapısının sunulduğu ilk belgedir. Bu atölye çalışmasından bir ay sonra Leuven'de yine aynı amaçların izlendiği yaşam döngüsüne dayalı değerlendirme yöntemi üzerine grupların bir araya getirildiği Avrupa atölye çalışması yapılmıştır [Klopffer, 2006].

1990 yılı ile birlikte YDD yönteminin standartları geliştirilmiştir. SETAC tarafından uluslararası bir standard için ilk girişim gerçekleştirilmiştir. Bununla çağdaş YDD'nin yaşam döngüsü amacı ve kapsamı, yaşam döngüsü veri çözümlemesi, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve yaşam döngüsü yorumundan oluşan ana hatları açık bir şekilde ortaya konulmuştur [Özçuhadar, 2007].

1990 yılından başlayarak YDD araştırmalarının miktarında süratli bir şekilde büyüme olmuştur. Bu konu üzerine birçok uluslararası konferans düzenlenmiştir. SETAC'ın Avrupa ve Kuzey Amerika bölümlerinin yıllık toplantılarının birçok oturumu YDD yöntemini içermektedir.

1993 yılından itibaren ise Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO), standartlaşmada liderliği üstlenmiştir. ISO, ISO 14000 Çevresel Yönetim Standardlarına ilave olarak YDD üzerine ISO 14040 serisini çıkartmıştır. Bu seri şu standartları içermektedir. Amaç ve kapsam tanımlama ve veri değerlendirme [ISO 14041, 1998], etki değerlendirme [ISO 14042, 2000a], yorumlama [ISO 14043, 2000b] ve genel bilgi çerçevesi için [ISO 14040, 1997] ISO 14040 serisi, gerçekte orijinal SETAC çerçevesine güçlü benzerlik göstermektedir. Azapagic'in bu konu hakkındaki çalışması iki YDD standartları arasındaki karşılaştırmayı vermektedir [Azapagic, 1999]. Ancak uluslararası standartlardaki gelişmeler içindeki ISO'nun güçlü pozisyonu ISO14040 serisini daha önemli hale getirmektedir [Tan ve Culaba, 2002].

2006 yılında ISO, YDD standardlarının ikinci baskısını yayınlamıştır. ISO 14040; Çevresel Yönetim-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensipleri ve Çerçevesi ile ISO 14044; Çevresel Yönetim-Hayat Boyu Değerlendirme-Gereksinimleri ve Kılavuzları standardları daha önceki YDD standardlarını iptal ederek onların yerini almıştır. Bu düzeltme ile özündeki teknik içerik aynı kalırken hatalar ve uyumsuzluklar ortadan kaldırılarak standardların anlaşılabilirliği geliştirilmiştir. ISO 14040 ile YDD'nin prensipleri ve çerçevesi tanımlanmaktadır. Uygulamalara ve sınırlılıklara genel bir bakış sağlanmaktadır.

YDD'nin tarihsel süreci, YDD'nin onu destekleyen kurumlar sayesinde gelişmeler gösterdiğini vurgulamaktadır.

#### **2.4. YDD Üzerine Çalışan Kurumlar**

Ürün endüstrisindeki YDD yöntemi üzerindeki gelişmeler diğer sektörleri etkilediği gibi inşaat sektörünü de etkilemiştir. Bu nedenle inşaat sektöründe YDD yöntemi üzerine çalışmalar ortaya koyan kurumlar vardır. İnşaat sektöründe YDD modelini destekleyen üç ana kurum vardır:

- Çevresel Zehirlilik ve Kimya Topluluğu (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC),
- Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Development UNEP),
- Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (The International Organization for Standardization - ISO).

YDD'nin gelişiminin anlaşılabilirliği açısından bu üç ana kurum ve yaptıkları çalışmaların ortaya konması gerekmektedir.

### 2.4.1. SETAC

SETAC, YDD'nin gelişmesi için çalışan ilk uluslararası kurumdur. Kökeninde akademik toplumun, endüstrinin ve devletin olduğu bilimsel bir organizasyondur.

Kar amacı gütmeyen dünya çapında profesyonel bir kurum olan SETAC'ın amacı; sürdürülebilir çevre kalitesinin ve eko sistemin bütünlüğünü korumak, geliştirmek ve yönetmek için ilkelerin ve uygulamaların gelişmesini desteklemektir. 1990 yılında düzenlenen SETAC toplantısında YDD'nin genel prensiplerinin ve kılavuzlarının geliştirilmesine başlanmıştır. Bu gelişme işlemi "SETAC Code of Practice [SETAC, 1993]" adı altında sonuçlanmıştır [Bozkurt, 2007]. Bu, YDD'nin teknik çerçevesinin ilk defa uluslararası kabul gördüğü YDD'nin uyumlaştırılmasına doğru önemli bir aşamadır [Guinee, 2002].

### 2.4.2. ISO

ISO; hem endüstriyelmiş hem de gelişmiş ülkelerdeki ulusal kuruluşları içeren, amacı geniş bir yelpazedeki ürün ve etkinliklerin standartlaşmasını hedefleyen dünya çapında özel bir organizasyondur

YDD, ISO'nun da çalışma konusu içinde yer almaktadır. ISO çalışmaları 1994 yılında başlamış ve YDD standartlarının ilk ve tam olarak serisinin oluşturulması bu çalışma ile hedeflenmiştir. Bunlardan 14000 serisi YDD ile ilişkili birçok standardı (14040 serisi) ve çevre yönetim sistemi üzerine olan 14001 standardını içermektedir [Bozkurt, 2007; Guinee, 2002].

ISO 14040 Standartları serisi Çizelge 2.1'de gösterilmektedir. Bu genel standartlar ISO 14040 (Çevresel Yönetim-Hayat Boyu Değerlendirme) serisi içinde ISO tarafından üretilmiştir. Bu standartlardan bazıları Haziran 2006'da yürürlükten kaldırılarak revize edilen ISO 14040 [ISO, 2006a] standardının kapsamına alınmıştır. Yürürlükten kaldırılan standartlar ISO 14040 [ISO, 1997], ISO 14041 [ISO, 1998],

ISO 14042 [ISO, 2000a], ISO 14043 [ISO, 2000b] standartları olup, Çizelge 2.1’de mevcut olan standartlar ile birlikte bunlar belirtilmektedir.

Çizelge 2.1. ISO 14040 Standartları Serisi [ISO, 1997; ISO, 1998; ISO, 2000a; ISO, 2000b; ISO, 2002; ISO, 2003a; ISO, 2003b; ISO, 2006a; ISO, 2006b]

ISO 14040 STANDARLARI SERİSİ
ISO 14040 (2006): Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensip ve Çerçeve
ISO 14040 (1997): Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Prensip ve Çerçeve (Haziran 2006’da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO/DIS 14041(1998) Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Amaç ve Kapsam Tanımı ve Envanter Analizi (Haziran 2006’da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14042 (2000): Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Etki Değerlendirmesi (Haziran 2006’da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14043 (2000): Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Hayat Boyu Yorumu (Haziran 2006’da yürürlükten kaldırılmıştır.)
ISO 14044 (2006): Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Gereksinimler ve Kılavuzlar
ISO 14047 (2003): Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Etki Değerlendirme-ISO 14042 Uygulama Örnekleri
ISO/TS 14048 (2002): Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Veri Belgeleme Biçimi
ISO 14049 (2003): Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Etki Değerlendirme-ISO 14041 Amaç ve Kapsam Tanımı ve Envanter Analizi Uygulama Örnekleri

### 2.4.3. UNEP

YDD alanında önemli rol oynayan üçüncü uluslararası kuruluş Paris’te Teknoloji, Endüstri ve Ekonomi Bölümü tarafından temsil edilen UNEP’tir. UNEP, kısmen gelişmiş ülkelerdeki YDD uygulamaları üzerine çoğunlukla odaklanmaktadır. UNEP’in önemli bir katkısı 1996 yılında kullanıcıların YDD’yi kolay okuması için bir rehber olan “Life Cycle Assessment: What it is, and what to do about it” başlıklı yayınıdır [Guinee, 2002].

UNEP ve SETAC şu anda daha büyük ve yeni bir görev olan Yaşam Döngüsü İnişiyatifi için işbirliği yapmaktadırlar. UNEP/SETAC Yaşam Döngüsü İnişiyatifinin amacı, ürün ve hizmetlerin tüm yaşam döngüsü boyunca olanaklarının ve risklerinin

değerlendirilmesi için gerekli pratik araçların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasıdır [Bozkurt, 2007].

## 2.5. YDD'nin Uygulama Alanları ve Kullanıcıları

YDD'nin uygulandığı alanlar uluslararası standard ISO 14040'da tanımlanmakta olup, dört ana başlık altında toplanmaktadır. Buna göre YDD [ISO, 2006; Paulsen, 2001];

- Kamuya yaşam döngüsünde çeşitli noktalarda ürünlerin çevresel yönlerini geliştirmek için olasılıkları belirlemede,
- Stratejik planlama, öncelik belirleme, ürün ve hizmetlerin tasarımı ve mevcut tasarımların yenilenmesi konularında kamuda ve özel sektörde karar verilmesinde,
- Ölçüm tekniklerini de içerecek şekilde çevresel performans göstergeleriyle ilgili kamu politikası oluşturulmasında,
- Pazarlamada (örnek çevresel ürün beyanları ve çevre etiketi) kullanılmaktadır.

Nebel ise YDD'nin uygulama alanlarını yedi maddede ele almış olup, YDD sonuçlarının aşağıdaki belirtilen çeşitli uygulamaları desteklemek için kullanıldığını belirtmektedir [Nebel, 2006]:

- Ürün tasarımı ve ürün geliştirme,
- Kamuya yasa çıkartma,
- Pazarlama,
- Stratejik planlama,
- Ürün zincir yönetimi,
- Karşılaştırma,
- Etiketleme ve ürün beyanları için kullanım.

YDD'nin sonuçlarından yararlanılarak hazırlanan çevresel ürün beyanları ve çevre etiketleri ürünlerin çevresel özellikleri hakkında bilgiler sunmaktadır.

### Çevresel Ürün Beyanları (Environmental Product Declaration-EPD)

Çevresel ürün beyanları, ürün veya sistemin çevresel performansını ifade etmek için kullanılan gönüllü, sertifikalı, standartlaşmış ve YDD'ye dayanan bir araçtır. Çevresel ürün beyanının amacı, ürünlerin çevresel performanslarıyla ilişkili olarak geçerli, doğru ve karşılaştırılabilir bilginin farklı tüketici ve piyasa ihtiyaçlarını karşılamak için sağlanmasıdır.

Gelişen çevre duyarlı eğilimlerle birlikte üreticiler ürünlerini “Çevre dostu ürün”, “eko-ürün” şeklinde tanımlamaya başlamışlardır. Ancak bu tanımlamaların bilimsel bir temele dayanması gerekmektedir. ISO, bu tanımlamaların bilimsel içeriğe sahip olması ve ortak bir anlayışın sağlanması için “ISO 14020 Çevre etiketleri ve Beyanları-Genel Prensipler” standardını oluşturmuştur [Şentürk, 2008].

Çevresel etiketler ve beyanlar bir ürün veya ürün grubu için yaşam döngüsü değerlendirme yöntemini esas alarak, nicel çevresel veriler sağlamaktadır. Beyanların hedefi TS EN ISO 14020'de şu şekilde açıklanmaktadır [TSE, 2002]:

“Amaç, bir ürün veya hizmetin çevre boyutu hakkında, yanıltıcı olmayan, doğru ve ispatlanabilir bilgiler verilmesi yoluyla, çevre üzerinde daha az olumsuz etkiye sahip ürün ve hizmetlere talebin artırılması ve bu ürünlerin arzının teşvik edilmesi gibi piyasa güçlerinin zorlaması ile sürekli bir çevresel gelişme potansiyelini sağlamaktır”.

Çevresel ürün beyanlarında:

- Üretici, ithalatçı, toptancı ve şirket ya da organizasyonca yürütülen çevresel işler,
- Üretim süresi ve hizmet etkinlikleri,
- Ürünün içeriği,
- Malzeme ve enerji akışı için envanter verileri,
- Olası çevresel etkiler,
- Hizmet, bakım ve geri dönüşüm,
- Belgelendirme süreci, hakkında bilgiler içerilmektedir [Şentürk, 2008].



Bir ürünün çevresel etkileri ile ilgili bilgilerin verilmesi, kullanıcıların ürünü seçerken, ürüne ait diğer ölçütlerin yanında bu bilgilere göre de değerlendirme yapabilmelerini sağlayacaktır. Bu şekilde çevresel beyana sahip olan ürünler arasında doğru bir karşılaştırmanın yapılabilmesi mümkün olacak ve ürünün özellikleri bir rekabet unsuru haline gelebilecektir. Çevresel ürün beyanının başka bir özelliği mimarların, müteahhitlerin ve satın alıcıların ürün seçiminde, yapı işlerinin kullanım ve bakımında destek olmasının yanı sıra yapı işlerinin yaşam döngüsü sonunda müteahhitlere ve firmalara geri dönüşümde çevre dostu olmada veya atıkların güvenli bir şekilde dağıtılmasında da yardımcı olmaktadır. Ayrıca çevresel ürün beyanı ile ilgili bilgiler yeni ürünlerin eko tasarımında ve var olanların geliştirilmesinde etkilidir. Böyle bir bilgi kamu veya özel satın almada çevresel kriterlere uygunluğun belirtilmesinde kullanılabilir. Tüm bu yararlar göz önünde bulundurulduğunda çevresel beyanların inşaat sektöründe kullanılması önem kazanmaktadır [Polychroni, 2007].

#### Çevre etiketi (Eco-label)

Çevre etiketi, Avrupa Konseyi tarafından 23 Mart 1992’de “EEC No: 880/92 Düzenlemesi” olarak oluşturulmuş ve düzenleme 2000 yılında yenilenmiştir. Düzenlemeye göre bir çevre etiketi; aynı ürün grubu içinde belirli ekolojik ölçütlere uyan ürünlere verilebilir. Ölçütler, düzenlemenin oluşturduğu prosedüre göre ürün grupları tarafından, YDD yönteminin kullanımı ile bir ürünün yaşamındaki tüm farklı süreçleri ilgilendiren tüm çevresel etkiler göz önünde bulundurularak belirlenir. Aynı ürün grubu içinde, farklı ürünlerin oluşmuş ve olası çevresel etkilerini sistematik bir yolla karşılaştırmanın da amaçlandığı YDD, çevre etiketinin tasarlanmasında ve ekolojik ölçütlerin belirlenmesinde bilimsel bir temel oluşturmaktadır [Tuna Taygun, 2005].

Çevre etiketinin amaçları; çevrenin korunması, çevresel yeniliklerin desteklenmesi, yapı kullanıcılarının çevresel konularda bilincinin artırılması olarak sıralanabilir. Etiket özellikleri ise güvenilir olması, anlaşılır olması, seçici olması, güncel

olması, çoklu ölçüt ile yaklaşımı ile çalışması, Avrupa boyutlarına sahip olması ve zorunlu bir uygulama olmamasıdır [Tuna Taygun, 2005].

Çevre etiketi uygulamasında, ekolojik ve performans ölçütlerine tam olarak uyan ürünler “çiçek” logosu ile etiketlenmektedir. Farklı ürün grupları için üye ülkelerde kullanılan bu logo, tüketicilere ürünün üstün çevresel performansa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, buna bağlı olarak çevre etiketli ürünlerin marka imgesi değerlendirilmekte ve gelişmekte, bu ürünlerin tasarımcı ve kullanıcı tarafından seçilme oranı da artmaktadır. AB'nin çevre etiketine sahip ürünleri; temizlik ürünleri, aygıtlar, kâğıt ürünler, ev ve bahçe, giyim ve turizm yapıları şeklinde sınıflandırılmaktadır. Yapı ürünleri ev ve bahçe sınıfı içinde yer almakta olup sert zemin döşeme kaplamaları ile yapı içi boya ve cilaları kapsamaktadır [Tuna Taygun, 2005].

YDD'nin yukarıda tanımlanan geniş çaplı uygulama seçenekleri YDD sonuçlarını kullanabilecek birçok kullanıcının var olduğunu göstermektedir. Bu kullanıcılar [Nebel, 2006]:

- Endüstri veya diğer ticari girişimler,
- İdari ve düzenleyici kuruluşlar,
- Tüketici kuruluşlar ve çevresel gruplar,
- Tüketiciler.

Nebel hangi kullanıcıların YDD'yi hangi amaçlar için kullandığını da belirterek endüstrinin, YDD'yi üretim işleminde ve ürünün kullanım aşamasında çevresel noktalarının tespit edilerek ürün tasarımı ve geliştirilmesi için kullandığını, ayrıca YDD sonuçlarının çevre etiketi için bilgi sağlama ve çevresel yönetim ve denetim sisteminin bir parçası olarak sürekli gelişimin ispatlanması için kullanılabilir olacağını; devletlerin, YDD'yi politik karar verme konusu içinde ve ayrıca sürdürülebilir tedarikteki tüketici rolü ile kullanabileceğini (örneğin geri dönüşüm veya yapı teknolojileri ve malzemeleri için para yardımı kararı için YDD sonuçlarının kullanılabilirliği); tüketici organizasyonların ve çevresel grupların,

YDD bilgilerini birçok ülkede çevre etiket ölçütlerini oluşturmak için kullandığını; tüketicilerin ise YDD çalışmalarının “son kullanıcıları” olduğunu ve satın alma kararında sonuçlardan yararlandığını ifade etmektedir [Nebel, 2006].

Farklı kullanıcıların yararlandığı ve birçok uygulama alanını destekleyen YDD, birçok avantaja sahip olmakla birlikte sınırlılıklara da sahiptir.

## 2.6. YDD'nin Sınırlılıkları

YDD, karşılaşılan çeşitli problemler ve sahip olduğu bazı sınırlılıklar nedeniyle kullanıcılar tarafından eleştirilmektedir.

YDD'nin sınırlılıkları Horvath'a göre aşağıdaki maddeleri içermektedir [Horvath, 1997]:

- YDD için anlaşılabilir veri eksikliği mevcuttur.
- Verilerin güvenilirliği sorgulanabilir.
- YDD için tanımlı problem sınırı tartışmalı ve gelişigüzedir. Farklı sınır tanımlamaları farklı sonuçlar ortaya çıkaracaktır.
- Tasarım işleminde uygulaması zor ve pahalıdır.
- Dünya çapında hem fikir olunacak ve kabul edilebilir tek bir YDD yöntemi mevcut değildir.
- Geleneksel SETAC tipi YDD genellikle dolaylı olan ekonomik ve çevresel etkileri göz ardı etmektedir.
- Yayınlanmış YDD çalışmaları çoğunlukla geniş çaplı çevresel yüklerin sonuçlarını içermemektedir, tipik olarak sadece birkaç çevresel etki belgelenmektedir.
- Eşit güvenilirliği olan analizlerde niceliksel olarak farklı sonuçlar çıkabilmektedir.
- Yeni bir ürün veya işlemin modellenmesi zor ve pahalıdır.
- YDD değişen teknoloji ve piyasanın dinamikliğini yakalayamamaktadır.
- Sonuçların yorumlanmasındaki farklılıklar nedeniyle eko-etiketlemede kullanılmak için YDD sonuçları uygun olmayabilmektedir.

Strand ise YDD'nin çevresel değerlendirmede en doğru sonucu veren yöntem olarak görüldüğü, ancak pratik uygulanmasında çeşitli problemler olduğu, bunun da esas olarak değerlendirme yapmak için ihtiyaç duyulan zaman ve son değerlendirme aşamasında hem fikir olunmuş yöntemlerin eksikliği olduğunu belirtmektedir. YDD standartlarındaki doğrudan rehber sağlayıcıların eksikliği nedeniyle, örneğin sistem sınırlamaları ve ayrıştırma için, farklı YDD'den çıkan sonuçlar nadir olarak karşılaştırılabilir olmaktadır. Bu durumda yapı malzemelerinin karşılaştırması ve seçimi için bu yöntemin kullanma olasılığı sınırlı bulunmaktadır [Strand, 2003].

Junnila'nın çalışmasında YDD'nin yaygın olarak kullanılmasına rağmen bileşenlerinde hala belirsizliklerin olduğu, veri çözümlemesi safhasının en az belirsizliği içerdiği ve en zayıf kısımların ise kapsam alanı, etki değerlendirme ve yorumlama kısmı olduğu belirtilmiştir. YDD'nin veri çözümlemesi safhasındaki kısıtlılığın ise daha çok varsayımlar ve sınır koyma, ayrıştırma, bilgi kaynakları ve boşlukları ve ayrıca fonksiyonel birimin tanımlanmasındaki sadeleştirmeye ilgili olduğu ifade edilmektedir [Junnila, 2004].

Gültekin'in çalışmasında YDD yönteminin kısa hizmet ömrüne sahip endüstriyel ürünlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik olarak ortaya çıktığı, ancak yapı sektörü tarafından da benimsenen yöntemin yapılara uygulanmasında bazı sorunlarla karşılaşıldığı belirtilmektedir. Bu sorunların ise yapı ürünlerinin hizmet ömürlerinin diğer endüstriyel ürünlere göre daha uzun olmasından ve bu ürünlerin çevresel etkileriyle ilgili bilgi eksikliğinden kaynaklanmakta olduğu ifade edilmektedir [Gültekin, 2006].

Ancak bütün bu kısıtlılıklara rağmen sürdürülebilir gelişmenin sağlanması için inşaat sektöründe YDD uygulamasının çok önemli olduğu bir gerçektir. YDD uygulamasının inşaat sektöründe getirdiğı birçok avantaj vardır ve YDD, çevresel etkilerin azaltılması açısından binanın yaşam döngüsünün değerlendirilmesi, analizi ve kontrol edilmesi için uygulanan en pratik yöntemlerdendir.

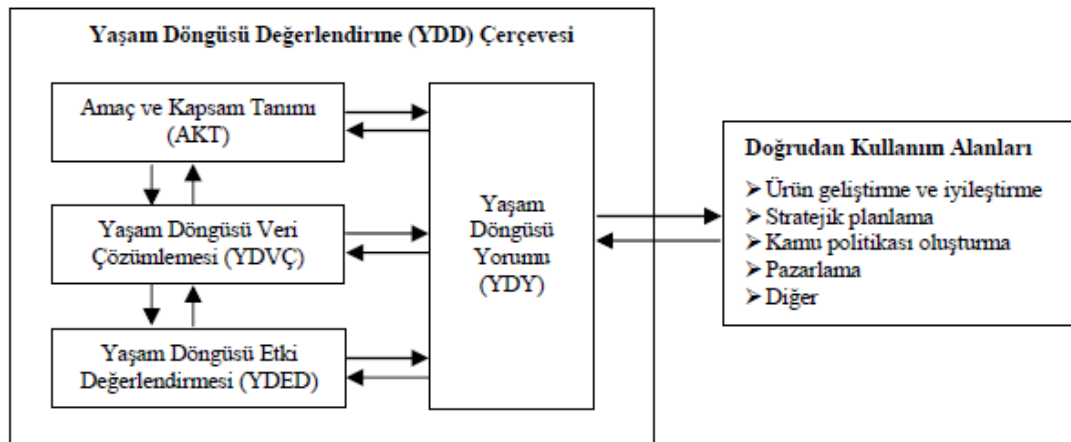
Sistemik bir yöntemle sahip olan YDD'nin yararları göz önünde bulundurulduğunda, YDD yönteminin kullanıcıları (Bkz. Bölüm 2.5) tarafından uygulanabilmesi için sınırları bir çerçeve ile belirlenmelidir.

## 2.7. YDD Yönteminin Çerçevesi

YDD yöntemi ISO 14040'a dayanmakta olup, dört analitik aşamayı içermektedir. [Alkan, 2004; Arena ve Rosa, 2003; Asif ve ark., 2007; Blengini, 2009; Curran, 2006; Çakmaklı, 2007; Guinee, 2002; Gültekin, 2006; ISO 14040, 2006; Jensen ve ark., 1997; Junnila, 2004; Klunder, 2004; Nebel, 2006; Ortiz ve ark, 2009; Paulsen, 2001; Pless, 2001; Tan ve Culaba, 2002; Tuna Taygun, 2005]. Bunlar:

1. Amaç ve Kapsam Tanımı-AKT (Goal and Scope Definition)
2. Yaşam Döngüsü Veri Çözümlemesi-YDVÇ (Life Cycle Inventory Analysis -LCI)
3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi- YDED (Life Cycle Impact Assessment LCIA)
4. Yaşam Döngüsü Yorumu-YDY (Life Cycle Interpretation)

Şekil 2.2'de YDD yöntemi çerçevesindeki aşamalar ve kullanım alanları (Bkz. Bölüm 2.5) yer almaktadır [ISO 14040, 2006].



Şekil 2.2. YDD yönteminin çerçevesi ve kullanım alanları arasındaki ilişki [ISO 14040, 2006]

Şekil 2.2’de her aşama kendinden bir önceki aşamayı izlemekte ve gerektiği durumlarda çalışılan aşamada yapılan eklemeler ve sonuçlar doğrultusunda geçmiş aşamalarda düzeltmeler yapılabilmektedir. YDD yöntemindeki bu aşamalar yöntemin anlaşılabilirliği açısından detaylı olarak aşağıda ele alınmaktadır.

### **2.7.1. Amaç ve kapsam tanımı-AKT**

YDD’nin ilk aşaması olup çalışmanın amacını, kapsamını, varsayımları, işlevsel birimi, sistem sınırlarını, dağıtım yöntemlerini, veri kalite gereklerini ve eleştirel gözden geçirme işlemini içermektedir [Gültekin, 2006; Jensen ve ark. 1997; Paulsen, 2001]. Çalışmanın amacının açık bir şekilde tanımlanması sonuçların geniş kullanılabilirliği hakkında yanlış anlaşmalara neden olmaması açısından önemli olmaktadır.

Nebel’e göre temel seviyede YDD’nin amaçları iki sınıfta toplanabilir [Nebel, 2006]:

1. Sıcak nokta analizi veya çevresel yönden ürün gelişimi: Bir sistem en büyük çevresel etkileriyle birlikte yaşam döngüsündeki evreleri tanımlanmak için çalışılmaktadır.
2. Karşılaştırmalı analiz: Bir veya daha fazla sistem göreceli çevresel etkileri karşılaştırmak için çalışılmaktadır.

#### **Amaç (Goal)**

YDD çalışması amacının tanımlanması amaç ve kapsam tanımı aşamasındaki en önemli bölümdür. Amaç, planlanan uygulamayı açık bir şekilde ifade etmeli, çalışmanın yapılmasının nedenlerini ve kimin tarafından sonuçların kullanılacağını içermelidir. Çalışmanın sonucunda doğru kararların çıkarılabilmesi için uygulayan kişilerin çalışmanın ayrıntılı amacını anlamaları gerekmektedir. YDD’nin amaçlarına örnek olarak şunlar verilebilir [Jensen ve ark., 1997]:

- Ürünlerin pazarlanmasında gerekli olan bilginin ortaya kullanılması amacıyla aynı işlevi sağlayan iki veya daha fazla farklı ürünü karşılaştırmak,
- Mevcut ürünün geliştirilmesinde veya yeni ürün tasarımında gelişim olasılıklarını tanımlamak,
- Ürün etiketleme ölçütlerinin bir parçası olarak ürünlerin yaşam döngüsündeki ölçütlerin kurulabileceği alanları tespit etmek.

Amaç tanımı, çalışmanın kapsamlılığının ve raporlamanın gerekliliğinin seviyesini belirler. Şeffaflık tüm YDD çalışmalarında önemlidir ve gereklidir. Çalışma boyunca bulguların sonuçlarına göre amaç yeniden tanımlanabilmektedir.

#### Kapsam (Scope)

YDD kapsamının tanımı, sistemin neyi içereceğini ve hangi ayrıntılı değerlendirme yönteminin kullanılacağına ilişkin olarak değerlendirmeye sınır koymaktır. Kapsam tanımlanırken sistemin işlevleri, işlevsel birimi, sistem sınırları, dağıtım yöntemleri, varsayımlar, veri gereksinimleri, sınırlılıklar, eleştirel gözden geçirme tipi, raporlama tipi ve biçimi düşünülmelidir. Kapsam, çalışmanın kapsamının ve ayrıntısının amacı belirtmek için yeterli olduğunu sağlayacak şekilde iyi tanımlanmalıdır [Jensen ve ark., 1997].

#### Varsayımlar (Assumptions)

Amaç ve kapsamı tanımlanan YDD çalışmasındaki ürün sisteminin, yaşam döngüsündeki çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde öncelikle bazı varsayımlar yapılmalıdır. Bu varsayımlar aşağıda ifade edilmektedir [Gültekin, 2006]:

- Hizmet ömrü ile ilgili varsayımlar,
- Bakım yöntemleri ve aralıkları ile ilgili varsayımlar,
- Onarım yöntemleri ve aralıkları ile ilgili varsayımlar,
- Binanın veya ürünün yeniden işlevlendirilmesi ve yenileme çalışmaları ile ilgili varsayımlar,

- Atık işleme (yıkım/yeniden kullanım/geri dönüşüm yolları) ile ilgili varsayımlar,
- Destekleyici sistemlerin (örn. enerji sağlama, taşıma) teknolojik gelişimi ile ilgili varsayımlar.

Varsayımların belirlenmesinden sonra YDD yöntemi çerçevesinde işlevsel birim tanımlanmaktadır.

### İşlevsel birim (Functional unit)

İşlevsel birim, amaç ve kapsam tanımı aşamasında belirlenmelidir. ISO 14040 standardında *işlevsel birim*, yaşam döngü değerlendirilmesi çalışmasında örnek bir birim olarak kullanılan ürün sisteminin nicelendirilmiş performansı olarak tanımlanmaktadır [ISO 14040, 2006]. İşlevsel birim, iki veya daha fazla ürünün bir ürün veya sistemin geliştirilmesini sağlamak üzere karşılaştırma yapabilmek için bir ölçek kurmaktadır. Bir sonraki aşama olan veri çözümlemedeki toplanan bilgiler işlevsel birimle ilgili olacaktır [Jensen ve ark., 1997].

İşlevsel birimin ana amacından biri, girdi ve çıktı verileriyle ilişkili olmak üzere referans sağlamaktır. Bu nedenle açık bir şekilde tanımlanmalı ve ölçülebilir olmalıdır. İşlevi yerine getirecek ürünün miktarı nicelendirilebilmelidir. İşlevsel birimle ilgili olan akışlar sonrasında sistemin girdileri ve çıktıları hesaplamada kullanılacaktır. Sistemler arasında karşılaştırmalar aynı işlev temeline göre yapılacak ve aynı işlevsel birimle ölçülecektir. Bu birimler;  $m^2$ ,  $m^3$ ,  $kg$ ,  $lt$  vb. olabilir. Yapı ürününün kendisi değil işlevsel özelliği karşılaştırılacaktır. Örneğin bir duvar yüzeyinin boyanmasında kullanılacak 1 lt hacmindeki iki farklı boyanın karşılaştırılmasında performans özellikleri aynı olmayabilir. Bu durumda bu iki boyanın karşılaştırılması için işlevsel birim “1  $m^2$  boyanmış yüzey ve 10 yıllık bir hizmet ömrü” olarak tanımlanabilir [Paulsen, 2001].

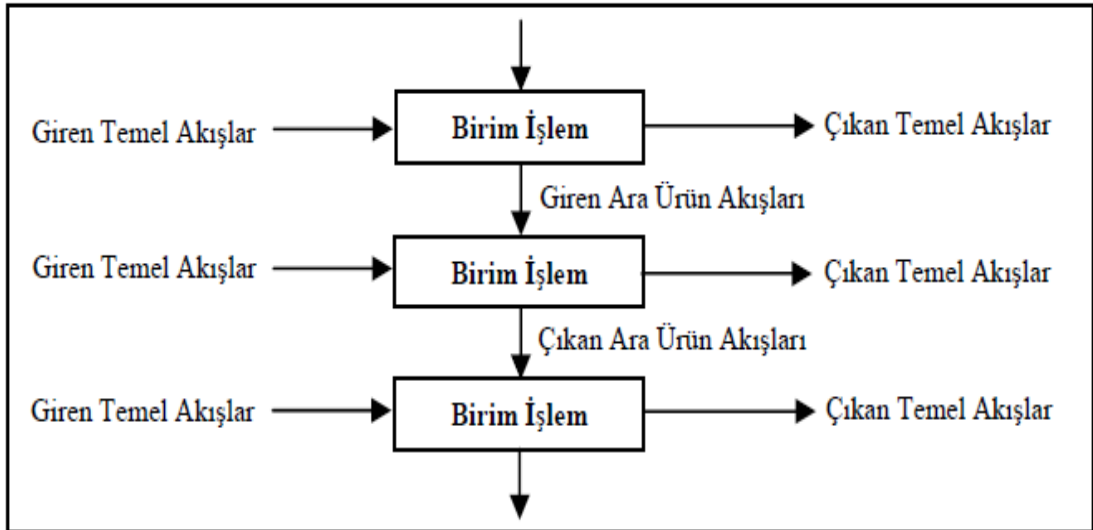
Isı yalıtım malzemelerinin işlevsel birimi ancak diğer yapı malzemelerinden farklılık göstererek ısı performans ile ilişkili olmakta ve daha işlevsel bulunan ısı direnç değeri esas alınmaktadır.



### Sistem sınırları (System boundaries)

Sistem sınırları, YDD yönteminde işlemleri (örn. üretim, nakliye ve atık yönetimi işlemleri) ve ele alınan girdi ve çıktıları tanımlamaktadır [Jensen ve ark., 1997].

Yapı ürün sistemi birim işlemlerden oluşmaktadır. Sistem sınırları, modellenmiş sistemin içereceği birim işlemleri ifade etmektedir. Ürün sistemi, birim işlemlere bağlanan sınırlardaki girdi ve çıktıların temel akışı olacak şekilde modellenmelidir [Paulsen, 2001]. Şekil 2.3’de şematik olarak bir yapı ürün sistemini oluşturan temel akış ve birim işlemler gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Bir yapı ürünü sistemini oluşturan birim işlemler [ISO 14044, 2006]

Sistem sınırları oldukça öznel bir işlemdir ve şu sınırları içermektedir: coğrafi sınırlar, yaşam döngü sınırları (örn. yaşam döngüsündeki sınırlılıklar) ve insan teknolojisi ve biyosfer arasındaki sınırlar. Sistem sınırlarının tanımının öznel olması işlemlerin şeffaflığını daha önemli hale getirmektedir [Jensen ve ark., 1997].

### Dağıtım yöntemleri (Allocation procedures)

Dağıtım; Şekil 2.3’de sunulan yapı ürünü sistem sınırlarındaki girdi ve çıktı akışlarının, bu sınırlardaki birim işlemlere dağıtılması anlamına gelmektedir. Yapı ürünleri sisteminde birden fazla birim işlem bulunabilir. Bu işlemler ek birim işlemleri ve yan ürünlere ilişkin birim işlemleri de kapsayabilir. Bu durumda bir YDD çalışmasında yapı ürünleri sisteminin girdi ve çıktı akışlarının sistem sınırlarındaki bütün birim işlemlere ayrıştırılması gerekir [Gültekin, 2006]. Girdi ve çıktı akışlarının birim işlemler arasında ayrıştırılması için farklı ülkelerde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. (Örnek: kütle dengesi, ekonomik değerler) [Paulsen, 2001].

Amaç ve kapsam aşamasında ürün sistemine ait veri toplanması için veri kalite gereksinimleri de tanımlanmalıdır

### Veri kalite gerekleri (Data quality requirements)

Yaşam döngüsü verilerinin kalitesi bir YDD çalışmasının sonucunun kalitesine yansımaktadır. Verilerin kalitesi farklı yollarla tanımlanabilir ve değerlendirilebilir. Veri kalite gereksinimleri toplanacak verilerin zaman, coğrafya ve teknoloji ile ilgili değişkenlerini kapsar. Zamanla ilgili değişkenler verilerin toplanmasında dikkate alınacak zaman aralığı (örn. son beş yıl içindeki veriler); coğrafyayla ilgili değişkenler, verilerin toplanacağı coğrafi ölçek (yerel, bölgesel, ulusal, kıtalararası, küresel); teknolojiyle ilgili değişkenler ise kullanılacak teknolojinin yaşı (örn. geleneksel teknoloji, gelişmiş teknoloji vb.) ile ilgili olabilir [Gültekin, 2006; Jensen ve ark., 1997].

Çalışmalarda amaç ve kapsam tanımına bağlı olarak verilerin toplanmasında kesinlik, bütünlük, temsil edilebilirlik, tutarlılık, tekrarlanabilirlik ölçütlerinin dikkate alınması veri kalitesinin artmasına katkıda bulunabilir [Gültekin, 2006; Jensen ve ark., 1997].

### Eleştirel gözden geçirme işlemi (Critical review process)

Eleştirel gözden geçirme işleminin amacı, yaşam döngü değerlendirmesinin kalitesini sağlamaktır. YDD çalışmasında kullanılan yöntemlerin uluslararası standartlara uygunluğunu doğrulama, bu yöntemlerin bilimsel/teknik geçerliliği, verilerin geçerli ve tanımlanan amaca uygunluğu, yorumların çalışmanın amacını yansıtması ve hazırlanacak raporun şeffaflığı eleştirel gözden geçirme işlemi ile elde edilebilmektedir. [Gültekin, 2006; Jensen ve ark., 1997].

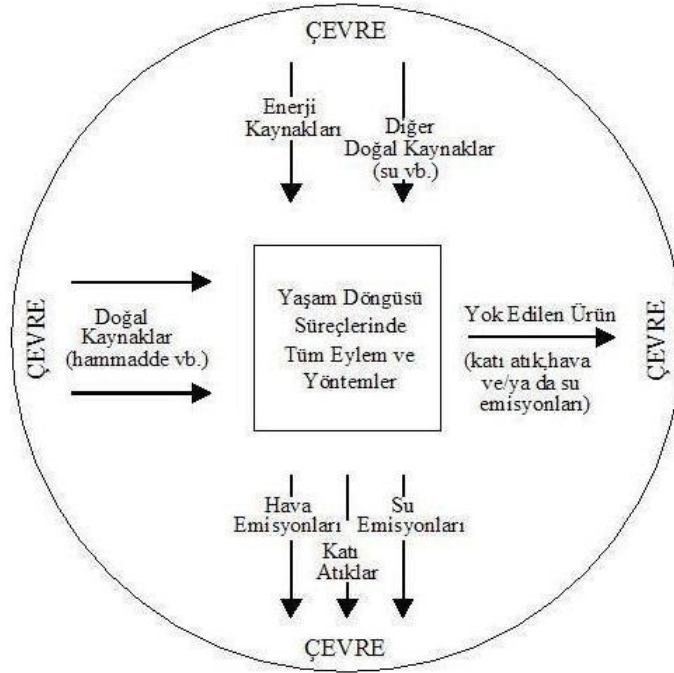
Eleştirel gözden geçirme YDD çalışmasının yürütüldüğü kuruluştaki uzmanlar, kuruluş dışı uzmanlar veya kamu kuruluşları, gönüllü gruplar ve rakip kuruluşlar gibi ilgili taraflardan (interested party) oluşturulmuş uzmanlarca yapılabilir [Gültekin, 2006].

Amaç ve kapsam aşamasının belirlenmesinden sonra Şekil 2.2’de sunulduğu üzere YDD yöntemi çerçevesinin ikinci aşaması olan “yaşam döngüsü veri çözümlemesi (YDVÇ)” gelmektedir.

#### **2.7.2. Yaşam döngüsü veri çözümlemesi-YDVÇ**

Yaşam döngüsü veri çözümlemesi (YDVÇ) YDD’nin ikinci aşaması olup, ürünün tüm yaşam döngüsü süreçleri boyunca girdi ve çıktılarının tanımlandığı; enerji ve hammadde gereksinimlerinin, hava ve su salımlarının, katı ve diğer çevresel atıklarının belirlendiği aşamadır [Tuna Taygun, 2005].

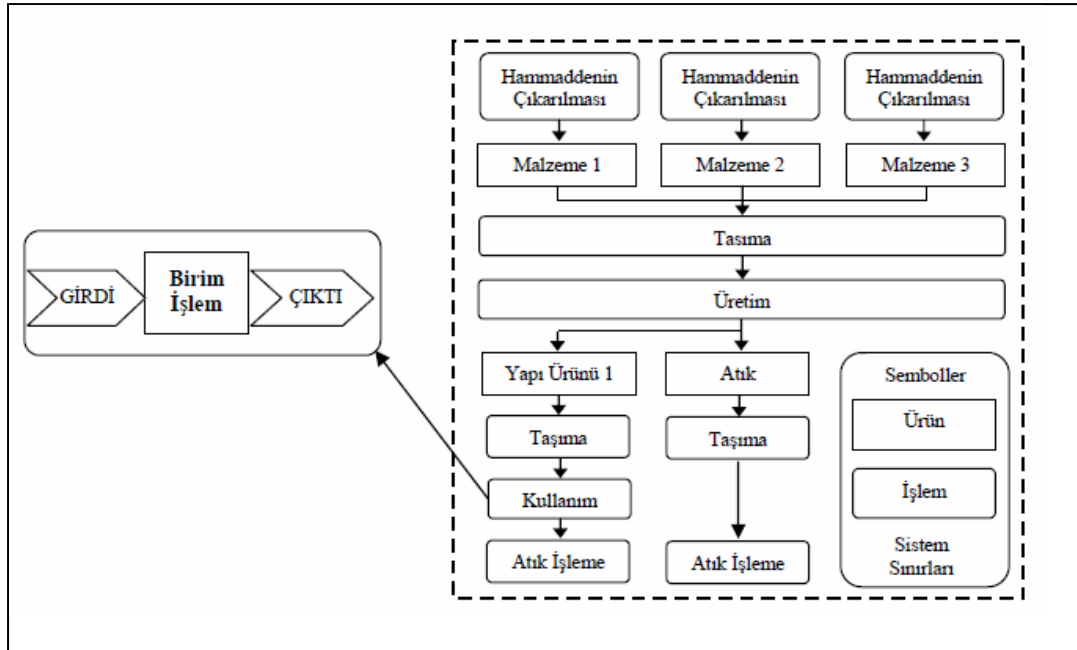
Şekil 2.4’te yaşam döngüsü süreçlerinde girdiler ve çıktılar ifade edilmektedir.



Şekil 2.4. Yaşam döngüsü süreçlerinde girdiler ve çıktılar [Tuna Taygun, 2005]

YDVC aşaması verilerin toplanması, verilerin onaylanması, verilerin birim işlemlerle ilişkilendirilmesi, verilerin işlevsel birimle ilişkilendirilmesi, verilerin derlenmesi, verilerin hesaplanması, sistem sınırlarının kesinleştirilmesi adımlarını içermektedir [Gültekin, 2006].

YDVC, Paulsen'in çalışmasında veri toplama (data collection) ve hesaplama (calculation) yöntemleri olarak belirtilmektedir. Amaç ve kapsamda tanımlanan modellenmiş sistem bir akış şemasına dönüştürülmektedir. Bu şemadaki her bir etkinlik birim işlemlere bölünmektedir. Her bir birim işlemde girdi ve çıktılarla ilişkili olmaktadır (Şekil 2.5). Veriler toplanmakta ve amaç ve kapsamda tanımlanan gereksinimlere göre değerlendirilmektedir. Veriler her bir birim işlemle ilişkili olup sonrasında da işlevsel birimle ilişkili olmaktadır. Bu veri çözümlemesi sırasında veri eksikliğinden dolayı sistem sınırlarını yenilemek gerekebilir. Buradan çıkan sonuçlar bir sonraki aşama olan etki değerlendirme için girdi oluşturmaktadır [Paulsen, 2001].



Şekil 2.5. Birim işlemleri içeren akış şeması [Gültekin, 2006; Paulsen, 1999]

Bu aşama içinde yer alan veri toplama sürecinde yeterli kalite ve miktarda verinin toplanması için kapsamlı bir çalışma yapılması gerekmektedir. Bu süreçte verilere sistematik ve hızlı bir şekilde ulaşabilmek için veri toplama yöntemleri oluşturulabilir. Ancak bu süreç içerisinde elde edilen verilerin yetersiz olması veya yeni veri gereksinimleri ortaya çıkması durumunda veri toplama yöntemlerinde veya çalışmanın amaç ve kapsamında değişiklik yapılabilir [Gültekin, 2006].

YDVÇ aşamasını, YDD yönteminin üçüncü aşaması olan “yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED)” takip etmektedir.

### 2.7.3. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi-YDED

YDVÇ tarafından belirlenen bir sistemin girdi ve çıktılarının, etkilerinin değerlendirilmesi ve tanımlanması için kullanılan niteliksel ve/ya da niceliksel bir yöntemi kapsayan aşamadır [Tuna Taygun, 2005]. Bir başka anlatımla ürün veya sistemin çevreyi nasıl etkilediğini değerlendirmek için niteliksel ve niceliksel

yaklaşım ile hammadde kullanımının, enerji ve su tüketiminin, çıktıların, havaya olan salımların ve çevreyi etkileyen katı atıkların analiz edildiği kısımdır.

YDED, zorunlu ve zorunlu olmayan elemanlardan oluşmaktadır. Zorunlu elemanlar üç tanedir. Bunlar etki sınıflarının (impact categories) seçimi, sınıf göstergelerinin (category indicator) saptanması (sınıflandırma) ve tanımlama modellerinin (characterization model) oluşturulmasıdır [ISO 14040, 2006].

*Etki sınıflarının (kategorilerinin) seçimi*, geçerli olan çevresel etki sınıflarının seçimi ve tanımlanmasını içermektedir (örnek: küresel ısınma, asitleşme, zehirlenme) [Curran, 2006].

*Sınıflandırma*, ilgili çevresel işlemlerin bilimsel incelenmesine dayanan niteliksel adımdır. Olası çevresel etkilere yani etki sınıflarına veri girdi ve çıktı bilgilerini tayin etmeyi amaçlamaktadır. YDD'nin bu kısmında uygulanan sistem yaklaşımında birçok çevresel etki göz önünde bulundurulur. Etki sınıfları listesi için şimdiye kadar tek bir listenin etkin olmasına ilişkin bir fikir birliğine ulaşılamamıştır [Jensen ve ark., 1997].

Etki sınıfları coğrafi ölçekte üç farklı grup içerisinde ele alınabilir: küresel etkiler (kıtasal etkiler), bölgesel etkiler ve yerel etkiler [Jensen ve ark., 1997; Tuna Taygun, 2005]. ISO 14047'de ise 6 çıktı ve 2 girdi ilintili sınıf tanımlanmaktadır. Bunlar çıktı ilintili sınıflar; “iklim değişikliği (climate change)”, “stratosferdeki ozon tüketimi (stratospheric ozone depletion)”, “asitleşme (acidification)”, “besin birikimi (nutrification)”, “insan zehirlenmesi (human toxicity)”, “ekolojik zehirlenme (ecotoxicity)” dir. Girdi ilintili sınıflar ise; “abiyotik kaynakların tüketimi” (depletion of abiotic resources) ve “biyotik kaynakların tüketimi (depletion of biotic resources)” dir [Gültekin, 2006].

Çevresel etki sınıfları, ISO 14040'a göre sınıf göstergelerine ve her bir sınıf göstergesi de sınıf uç noktalarına dönüştürülebilmektedir. Sınıf göstergeleri etki sınıflarının sonuçlarını; sınıf uç noktaları ise korunmaya alınması gereken alanları

ifade etmektedir [Gültekin, 2006]. Etki sınıfları ile bu etki sınıflarının olası göstergeleri ve uç noktaları Çizelge 2.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 2.2. Etki sınıflarının olası sınıf göstergeleri ve sınıf uç noktaları [Gültekin, 2006]

ETKİ SINIFI	SINIF GÖSTERGESİ	SINIF UÇ NOKTASI
Küresel Isınma	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

Çizelge 2.2’de yer alan bu etki sınıflarının tanımı ve açıklamaları ise aşağıda detaylı olarak ele alınmaktadır [Alkan,2004; Gültekin, 2006; Jensen ve ark, 1997].

*Küresel ısınma*, fosil yakıtların yanması ve çeşitli tarımsal/endüstriyel uygulamalar sonucu sera gazlarının atmosfere salınımıyla dünya iklim sisteminde meydana gelen önemli değişiklikler olarak tanımlanabilir. Alt atmosferde sera gazları etkisiyle ısının artması sonucu oluşmaktadır. Alt atmosfer genellikle dış atmosferden (güneşten) gelen ışınım ile ısınmaktadır. Bu ışınımlardan bir kısmı toprak yüzeyi tarafından yansıtılmaktadır. Ancak atmosferdeki karbondioksit ve diğer sera gazları (örneğin metan ve NO<sub>2</sub>), sera etkisine neden olacak kızılötesi ışınımları yansıtmakta ve alt atmosferdeki ısı artarak normal seviyenin üzerine çıkmaktadır. Küresel ısınma, ısı ışınımı yansıtması sırasında CO<sub>2</sub> etkisine sahip olan ürünler için küresel ısınma

olasılığı (global warming potential- GWP) ile nicelendirilmektedir. Sera gazları için küresel ısınma olasılığı CO<sub>2</sub>-denkliği ile ifade edilmekte olup, etkileri CO<sub>2</sub> in etkisine göre göreceli olarak tanımlanmaktadır.

*Stratosferdeki ozon tükenimi*, çeşitli ozon tüketici bileşiklerin salımıyla stratosferin zarar görmesi ve ozon deliklerinin oluşmasıdır. Bunun sonucunda da artarak gelen UV ışınları insan sağlığına ve ekosisteme zarar vermektedir. Stratosferik ozon katmanı 10-40 km yükseklikte, 15-25 km arasında maksimum yoğunlukta ortaya çıkmaktadır. Stratosferik ozonun (O<sub>3</sub>) en yüksek oluşumu 40 km yükseklikte stratosferin en üstünde moleküler oksijen (O<sub>2</sub>) ile atomik oksijenin (O) reaksiyonu sonucu meydana gelmektedir. Reaksiyon, oksijenin ayrışmasında kullanılan UV ışınlarına ve ayrışmadan dolayı fazla enerjinin emiliminde kullanılan diğer moleküllerin varlığına bağlıdır. Ozondaki bozulma halojen bileşiklerin stratosfere girmesinden kaynaklanmaktadır (örn. CFC, HCFC gazları vb.).

*Asitleşme*, daha çok fosil yakıtların yanmasıyla oluşan asit gazlarının havaya, suya ve toprağa salımıyla oluşmaktadır. Protonların yeryüzü ya da su ekosistemine serbest kalmasından kaynaklanmaktadır. Protonların serbest kalmasına neden olan maddeler SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> ve HCl ve bunun dışında sülfür bileşikleri ve diğer asitler olabilir. Asitleşme potansiyeli (AP) SO<sub>2</sub>-denkliği veya hidrojen (H<sup>+</sup>) ile hesap edilmektedir.

*Besin birikimi (ötrofikasyon)*, sularda ekosistemi bozacak miktarda besin maddesi birikmesi, böylece canlıların yaşaması için gerekli oksijenin azalması olarak tanımlanabilir. Ekosistemdeki besin birikimine fazla nitrojen, fosfor ve bozunabilir organik malzemeler neden olmaktadır. Sularda fazla miktarda nitrojen ve fosfor bulunmasının başlıca etkisi yosunların büyümesidir. İkincil etkiler ise organik malzemelerin ayrışmasıdır. Organik malzemelerin ayrışması oksijen tüketen bir işlemdir ve oksijen doyumluğunda azalmaya neden olmaktadır. Besin birikimi potansiyeli (Eutrophication Potential-EP) O<sub>2</sub>- veya PO<sub>4</sub>-denklikleri ile ifade edilmektedir.



*İnsan zehirlenmesi*, insanların havaya, suya ve toprağa salınan zehirli maddelere maruz kalmasıdır. Bu etki ile insanlarda kanser, alerjik reaksiyonlar, tahriş, genler üzerinde değişiklik ve bedensel rahatsızlıklar görülebilmektedir. Zehirlilik etkilerini değerlendirecek birçok metot günümüzde uygulanmakta ve birçoğu da halen geliştirilmektedir.

*Ekolojik zehirlenme*, zehirli maddelerin doğal ortamdaki bitki, hayvan ve diğer canlılar üzerindeki etkileridir. Ekosistem üzerindeki bu potansiyel etkiler belirli malzemelerin çevreye bıraktığı salımlara bağlıdır. Kimyasal etkileri tanımlayacak ve maruz kalınan zehirlilik etkilerini değerlendirecek birçok metot geliştirilmiştir (örn. MUP-metot, EDIP-metot, “zehirlilik potansiyel yaklaşımı” vb.).

*Kaynak tükenimi*, tüketim sonucu doğal kaynak stoklarının azalması olarak tanımlanabilir.

*Fotokimyasal oksit oluşumu*, uçucu organik bileşenler ve nitrojen oksitlerin güneş ışığında salımıyla yeryüzünde sis oluşmasıdır. Fotokimyasal oksit oluşumunun biyolojik etkisi reaktif ozon bileşiklerine biyokimyasal etki olarak tanımlanabilir. Bitkilerin bu ozona maruz kalması yüzeylerinde bozulmaya, yapraklarda renk değişikliklerine, yapraklarda ve son olarak tüm bitkide kurumaya neden olabilir. İnsanların maruz kalması ise gözde tahrişe, solunum problemlerine ve solunum sistemlerinde kronik hasarlara yol açabilir.

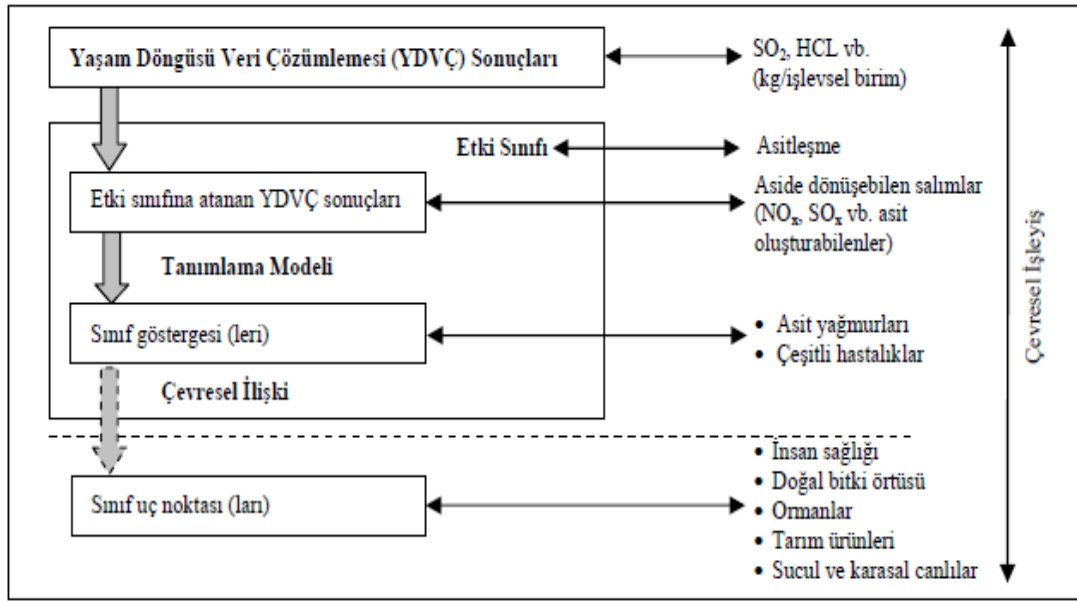
*Kirlilik*, zararlı maddelerin havaya, suya ve toprağa salımıyla ilgilidir.

*Biyçeşitliliğin zarar görmesi* ise doğal ekosistemlerin çeşitli sebeplerle bozulması anlamına gelmektedir.

Çevresel etkilerin sınıflandırmasından sonra YDED'nin zorunlu elemanlarından üçüncüsü olan tanımlama gelmektedir.

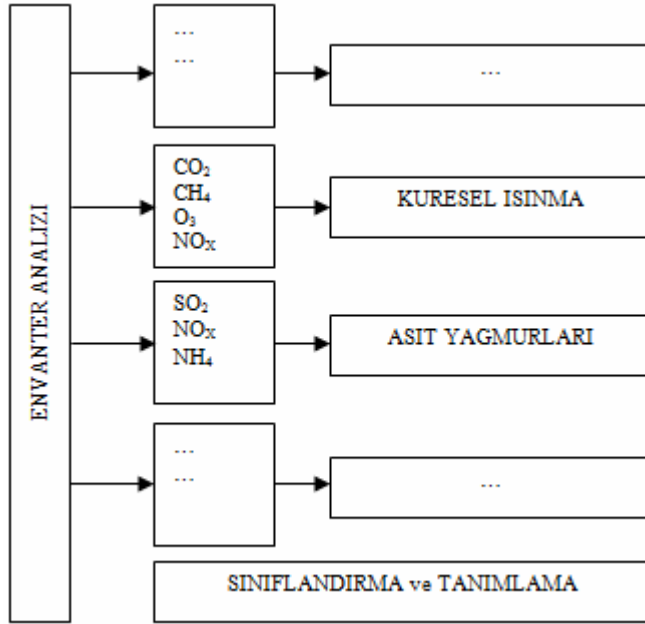
*Tanımlama*, ilgili çevresel işlemlerin bilimsel incelenmesine dayanan niceliksel adımdır. Tanımlama seçilmiş olan çevresel sınıflara her bir girdi ve çıktının göreceli katkısını tayin etmelidir [Jensen ve ark., 1997; Curran, 2006]. Örneğin karbondioksit, karbon monoksit, klor ve metan sera etkisi ve küresel ısınma sınıflamasına girmektedir. Bu adımda karşılaştırma yapılabilmesi için değerler aynı birimlere getirilmektedir. [Alkan, 2004;Tuna Taygun, 2005].

Şekil 2.6.'da etki sınıflarının seçimi, sınıf göstergelerinin saptanması ve tanımlama modellerinin oluşturulmasına ait bir şema “asitleşme” etki sınıfı için örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin zorunlu elemanları ve “asitleşme” örneği [Gültekin, 2006; Paulsen, 2001]

YDED aşamasındaki sınıflandırma ve tanımlama elemanları Tuna Taygun’un çalışmasında da ele alınmış olup, bu aşamalar çalışmada Şekil 2.7’deki gibi özetlenmektedir.



Şekil 2.7. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi aşamasında sınıflandırma ve tanımlama elemanları [Tuna Taygun, 2005]

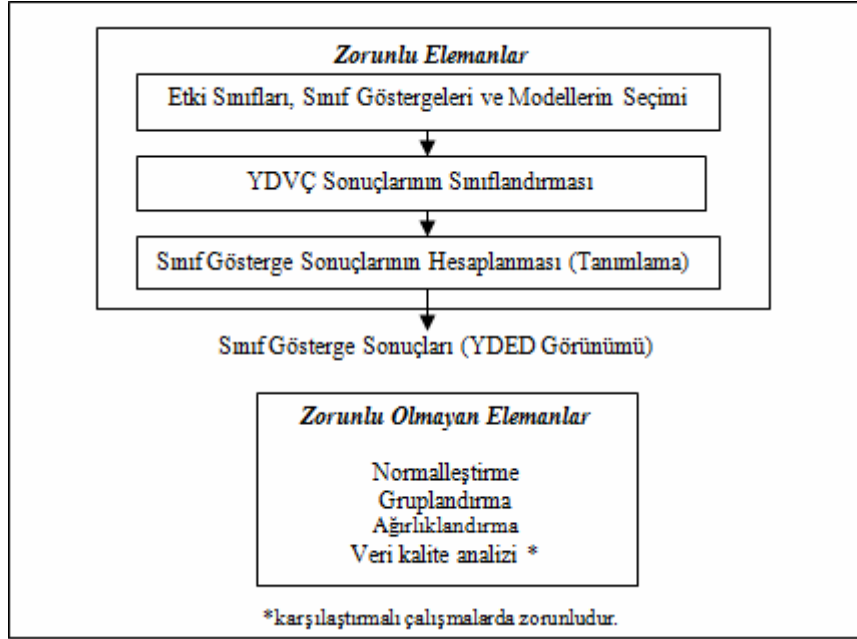
Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin zorunlu olmayan elemanları ise normalleştirme, gruplandırma ve ağırlıklandırmayı içermektedir (Şekil 2.8).

*Normalleştirme*, olası etkilerin karşılaştırılabilir hale gelmesini ifade etmektedir. Ortak bir referans kullanılarak olası etki ve kaynak tüketiminin derecelendirilmesidir (örn. iki seçenek için karbondioksit ve metanın küresel ısınmasının karşılaştırılması) [Alkan, 2004; Curran, 2006].

*Gruplandırma*, göstergelerin sıralanmasını içermektedir. (örnek: bulunduğu yere göre sıralama; yerel- bölgesel- küresel) [Curran, 2006].

*Ağırlıklandırma*, bu kısımda çevresel problemlere kendi içinde önemine göre özel bir değer verilir. Buna “ağırlıklandırma” denir. Her çevresel problem için puanlar kendi ağırlıklandırma değeri ile çarpılır ve bütün puanlar birbiri ile toplanarak toplam çevresel indeksi oluşturur [Tuna Taygun, 2005]. Ağırlıklandırma zorunlu olarak bilime dayanması gerekmeyen, sık sık politik ve etnik değerlere dayanan niteliksel veya niceliksel bir adımdır [Jensen ve ark, 1997].

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin zorunlu ve zorunlu olmayan elemanları Şekil 2.8’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi elemanları [ISO 14042, 2000]

YDED aşamasından sonra, Şekil 2.2’te belirtildiği üzere YDD çalışmasının son aşaması olan “yaşam döngüsü yorumu (YDY)” gelmektedir.

#### 2.7.4. Yaşam döngüsü yorumu-YDY

Önemli konuların belirtildiği, sonuçlara ulaşmak için bulguların değerlendirildiği ve önerilerin ifade edildiği son aşamadır. Etki değerlendirilmesinde sınıflanan ve tanımlanan olumsuz etkilerin yaşam döngüsü boyunca enerji, hammadde kullanımı ve çevresel atıkların azalması amacına yönelik yorumlandığı kısımdır. Tüm yaşam ömrü objektif bir bakış açısıyla ele alınarak ve çevreye olan etki değerlendirilerek ürün veya sistemden doğan çevresel yükleri azaltmak için gerekli iyileştirmeleri bu aşama içerir [Alkan, 2004; Jensen ve ark., 1997; Nebel, 2006; Tuna Taygun, 2005].

Yaşam döngüsü yorumu aşaması önemli çevresel konuların tanıtımı, değerlendirme (çevresel etkilerin niteliksel olarak değerlendirilmesi), sonuç ve öneriler kısımlarından oluşmaktadır [Gültekin 2006; Jensen ve ark. 1997].

Tanıtım kısmı ilgili bilgilerin yapılanmasını ve sunumunu içermektedir. Bu ilgili bilgiler farklı aşamaların sonuçları, yöntemsel seçimler, kullanılan değerlendirme metodları ve farklı ilgili tarafların rolü ve sorumluluklarını kapsamaktadır. YDD'nin karmaşıklığına bağlı olarak sistemde düşünülen önemli çevresel konular; örneğin CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> veya küresel ısınma, ekolojik zehirlenme, insan zehirlilik etkileri olabilir [Jensen ve ark., 1997]. Değerlendirme kısmı üç elemanı içermektedir. İlk olarak verilerin, işlemlerin seçiminde niteliksel kontrol yapılmalıdır. İkinci olarak girdi verilerinde herhangi bir değişikliğin yapılmasının sistematik niteliksel veya niceliksel analizi uygulanmalıdır. Üçüncü olarak amaç ve kapsam tanımını çerçevesinde tanımlanan değişiklikler tartışılmalıdır [Jensen ve ark., 1997].

Bu aşamadaki yorumda bütünlük, hassasiyet ve uygunluk kontrolleri yapılmalıdır. Bütünlük kontrolüyle YDY için gerekli olan bilgi ve verilerin eksiksiz ve ulaşılabilir olması sağlanabilir. Hassasiyet kontrolüyle çalışma sonuçlarının veriler, dağıtım yöntemleri ve veri kalite gereklerinin hesaplanmasındaki belirsizliklerden etkilenip etkilenmediği, uygunluk kontrolüyle ise çalışmadaki varsayım, yöntem ve verilerin amaç ve kapsam tanımına uygunluğu değerlendirilebilmektedir [Gültekin, 2006].

Yorum kısmının son aşaması YDD çalışması raporu için sonuçlara ve önerilere ulaşmayı içermektedir. Çalışmanın şeffaflığı ve raporlanması için bu aşama önemlidir.

Yukarıda tüm aşamaları anlatılan YDD yöntemi çerçevesine ait İngilizce kavramlar ve Türkçe karşılıkları kronolojik olarak EK-1'de sunulmaktadır.

## 2.8. YDD ile Binaların Çevresel Etkilerini Ölçen Değerlendirme Yöntemleri

YDD yöntemi göz önünde bulundurularak çevresel değerlendirmede kullanılmak üzere çeşitli yöntemler ve sistemler geliştirilmiştir. Bina çevresel değerlendirme yöntemleri, bina tasarımı ve inşa alanındaki yapım kapsamı içinde sürdürülebilirlik fikrinin önemini yansıtmaktadır. Bu değerlendirme sistemlerinin hedefi yaygın ve doğrulanabilir ölçüt ve hedefler listesi kullanarak bina sahipleri ve tasarımcıların yüksek çevresel standartlara erişebilmeleri için binanın kapsamlı çevresel özelliklerinin değerlendirilmesini sağlamaktadır [Ding, 2008].

Ding'e göre birçok çevresel bina değerlendirme sistemi YDD veri tabanına dayanmaktadır. Bu bina değerlendirme sistemleri temel olarak iki gruba ayrılır: değerlendirme ve pazarlama sistemleri. Değerlendirme sistemleri tasarım alternatifleri için niceliksel performans göstergelerini sağlarken, pazarlama sistemleri binaların yıldız olarak performans düzeyini belirler [Ding, 2008].

Ortiz'e göre bu binaların çevresel etkisini ölçen değerlendirme sistemleri üç seviyede sınıflandırılabilir: *Seviye 3*, "Tüm bina değerlendirme çerçevesi veya sistemleri" ile adlandırılır ve BREEAM (İngiltere), LEED (Amerika), SEDA (Avustralya) gibi yöntemleri içerir; *seviye 2*, "Tüm bina tasarım karar veya karar destek sistemleri" olup LISA (Avustralya), Eco-Quantum (Hollanda), Envest (İngiltere), ATHENA (Kanada), BEE (Finlandiya) yöntemlerini kullanır; *seviye 1*, ürün karşılaştırma sistemleri içindir ve GaBi (Almanya), SimaPro (Hollanda), TEAM (Fransa) ve LCAiT (İsveç)'i kapsar [Ortiz ve ark., 2009].

BREEAM, ilk bina çevresel değerlendirme sistemi olup hala da en yaygın kullanılanıdır. Bina Araştırma Kuruluşu (The Building Research Establishment) 1990 yılında İngiltere'deki özel kuruluşlarla işbirliği yaparak bu sistemi geliştirmiştir. Yeni ofis binaları için kredi ödül sistemi olarak başlamıştır. Değerlendirme sonuçları sertifikası bir bina için orta, iyi, çok iyi ve mükemmel esasına dayanan bir reyting şemasına göre verilir. 1990 yılından sonra BREEAM sistemi sürekli olarak kendini yenilemiş ve mevcut ofisler, süpermarketler, yeni evler ve hafif endüstri binalarının

değerlendirilmesi için de kullanılmıştır. BREEAM sisteminden sonra bina çevresel değerlendirmesi için dünya çapında birçok yöntem geliştirilmiştir [Ding, 2008].

Bina değerlendirme yöntemlerinin listesi, hangi ülkelerde kullanıldığı ve özelliklerine ait bir tablo Ding'in çalışmasında [Ding, 2008] ayrıntılı olarak yer almaktadır. Bu çalışmada yer alan yöntemlerden bazıları BEPAC, CPA, Eco-Quantum, EPGB, LEED, GB Tool, GreenStar ve SpeAR dir.

Mevcut değerlendirme sistemlerinden BEES (Amerika), ATHENA, BEAT2001, Envest ise Strand'ın çalışmasında [Strand, 2003] detaylı olarak ele alınmaktadır.

Günümüzde yazılım kullanımı, değerlendirme yöntemlerinde en güvenilir yöntemdir. Bu yazılımlar, tüm karmaşık verilerin bir araya toplanmasına ve karmaşık olarak modellemeye olanak sağlarlar.

YDD'ye yönelik değerlendirme yöntemlerinin ülkelere göre dağılımı Çizelge 2.3.'de ifade edilmektedir.

Çizelge 2.3. YDD değerlendirme yöntemlerinin ülkelere göre dağılımı

ÜLKE	YDD DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ
A.B.D.	BEES, GREET 17, LEED, US LCI Data
Almanya	ATROID, EcoPro, GaBi 4, GEMIS, Umberto
Avustralya	LISA, SEDA
Danimarka	EDIP PC-Tool, SPOLD
Finlandiya	BEE, KCL-ECO
Fransa	EQUER, ESCALE, TEAM™ 4.0
Hollanda	CMLCA, Dubo-Calc, Eco-Quantum, IDEMAT, MIET 3.0, SimaPro
İngiltere	Boustead Model, BREEAM, CPA, ECOTECT, ENVEST, LCAPIX, PEMS
İsveç	Ecoinvent, EPS 2000 Design System, LCAIT, SPINE@CPM
İsviçre	EMIS, REGIS
Kanada	ATHENA, BEPAC

Menke ve ark. [Menke ve ark., 1996] birçok değerlendirme yöntemi çerisinden KCL-ECO ve TEAM'i detaylı bir yaşam döngüsü verisine sahip olduğu için, LCAİT ve PEMS'i etki değerlendirme özelliği ve sistem esnekliği nedeniyle, SimaPro'yu da endüstrideki geniş kullanımı nedeniyle çalışmalarında seçerek bu beş değerlendirme yöntemini bilgisayar gereksinimleri, sistem tanımları, veri ve veri yönetimi, esneklikleri, hesaplamaları ve karşılaştırmaları ve çıktı sonuçları açısından çalışmalarında ele almaktadırlar.

YDD yöntemine yönelik yöntemler Tuna Taygun'un çalışmasında [Tuna Taygun, 2005] da yer almış ve yöntemlerin türü, anlaşılabilirliği, kullanımının zorunluluğu, kullanıcıları, değerlendirme düzeyi, kullandıkları YDD süreçlerinin tanımlanıp tanımlanmadığı ve kullandıkları çevresel etki alanı ölçütlerinin belirlenmesine göre bu yöntemler irdelenmiştir. Çalışmada irdelenen yöntemler: LEED, BEES, ATHENA, BRE, BREEAM, Ecohomes, Envest, Environmental Profiles, SMARTWaste, Analytica, Pre, SimaPro, Eco-Indicator Etki Değerlendirme Yöntemi, IVAM veritabanı, Eco-Quantum, Ecoinvent veritabanı, GaBi, TEAM, GB Tool, Woolley, Curwell ve March'tır. Bu YDD'ye yönelik yöntemlerin bir kısmı aşağıda özetlenmektedir.

*LEED* (Leadership in Energy and Environment Design), çevresel performansı değerlendirmek amacı ile 'Amerikan Yeşil Yapı Konseyi (The U. S. Green Building Council-USGBC)' tarafından oluşturulan, çevre etiketi ve YDD yöntemlerini bir araya getirerek bir binanın yaşam döngüsünü inceleyen bir programdır. LEED bina değerlendirmesini denetim listesi aracılığı ile yapmaktadır. Denetim listesi altı çevresel etki alanından oluşmaktadır. Bu etki alanları; sürdürülebilir alanlar, su tasarrufu, enerji ve atmosfer, ürünler ve kaynaklar, yapı içinin çevresel niteliği, yenileme ve tasarım sürecinden oluşmaktadır. Her alan farklı puanlara sahip kredilerden oluşmaktadır. Kredilerin toplam puanı 69'dur. LEED sertifikası alabilmek için ön koşulların yerine getirilmesi ve en az 26 puana ulaşılması gerekmektedir [Scheuer ve Keoleian, 2002; Tuna Taygun, 2005; USGBC (The U. S. Green Building Council), 2009].



ATHENA, tüm binanın YDD'si üzerine Kanada'da ATHENA Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü tarafından geliştirilmiş bir yazılım programıdır. Öncelikli olarak eğitime ve sürdürülebilirlik danışmanlığına yönelik programdır. Bu yazılımla mimarlar, mühendisler ve diğer kullanıcılar endüstriyel, kurumsal, ticari ve konut tasarımlarının hem yeni bina hem de büyük renovasyonlarının çevresel etkilerini değerlendirebilir hemde karşılaştırabilmektedir. ATHENA veri tabanı konutlarda ve ticari binalarda tipik olarak kullanılan strüktürel ve bina dış kaplama sistemlerinin %90'ından fazlasını içermektedir. Toplam enerji tüketimi, küresel ısınma, hava-su kirliliği, hammadde kullanımı ve katı atıklar başlıkları altında ürün veya yapıların çevresel etkilerini değerlendirmektedir [ATHENA Institute, 2009].

BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability), ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (National Institute of Standards and Technology-NIST) tarafından 1994 yılında geliştirilmiştir. BEES'in amacı çevresel ve ekonomik performansları en uygun dengeye sahip yapı ürünlerini seçmek için bir sistematik yöntem geliştirmek ve yürütmeye bulmaktır. BEES, ürünlerin çevresel performansını YDD yaklaşımı ve ISO 14040 standartları serisi ile, ekonomik performansını ise ASTM (American Society of Testing and Materials) standartlarından Yaşam Döngüsü Maliyeti (YDM) yaklaşımını kullanarak ölçmektedir [Bozkurt, 2007; Building and Fire Research Laboratory NIST, 2009; Tuna Taygun, 2005].

BRE, tüketicilere yapı çevresinde danışmanlık, ölçüm ve sertifika verme amaçlı araştırmalar gerçekleştiren bir kurumdur [BRE (Building Research Establishment), 2009]. Çevresel etkilerin ve maliyetin azaltılmasına ve değerlendirilmesine, var olan ve önerilen zorunluluklara uyulmasına yardım eden BRE; BREEAM [BREEAM: BRE Environmental Assessment Method, 2009], Ecohomes [BRE (Building Research Establishment), Ecohomes, 2009], Invest [BRE (Building Research Establishment), Invest, 2009], Environmental Profiles [BRE (Building Research Establishment), Environmental Profiles, 2009] ve SMARTwaste [SMARTwaste, 2009] gibi programları içermektedir. Bunlardan BREEAM, yeni ya da mevcut tüm yapıların çevresel performanslarının değerlendirilmesi ve geliştirilmesi; Ecohomes,

konutların çevresel performanslarının değerlendirilmesi ve geliştirilmesi; Envest, ön tasarım sürecinde bir yapının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi; Environmental Profiles, tüm yapı ürünlerinin sürdürülebilirliğinin ölçülmesi; SMARTWaste, yapım atıklarının ölçülmesi, yönetilmesi ve azaltılması için kullanılan yöntemlerdir [Tuna Taygun, 2005].

Pre, SimaPro ve Eco-Indicator etki değerlendirme yöntemi yapı ürünlerinin ve bileşenlerinin veri analizleri doğrultusunda çevresel performanslarının hesaplanabilmesi için kullanılan araçlardır. Bir ürün ya da yöntemin tüm çevresel etkilerini gösteren standart Eco-indicator değerleri ile ürünlerin yaşam döngüleri analiz edilebilmekte ve farklı tasarım seçenekleri karşılaştırılabilmektedir [Tuna Taygun, 2005].

Eco-Quantum, yapının tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini hesaplayan YDD'ye dayalı bir değerlendirme yöntemidir. Yapının toplam yaşam döngüsü ile ilişkili toplanan girdi ve çıktıları kaynakların tüketimi, salımlar, enerji tüketimi ve atık gibi çevresel göstergelere dönüştürülmektedir [Tuna Taygun, 2005].

GB Tool, GBC (Green Building Challenge) hizmetinin bir parçası olarak yeşil yapılarda ortak bir dil oluşturmak için geliştirilmiş olup yapıların çevresel ve sürdürülebilir performansının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Değerlendirme mevcut yapı, yeni yapı ya da her ikisinin karışımını ele alabilmektedir. Yapı; tasarım, enerji, çevresel özellikler, yapı içi çevresel nitelikler, yapı sistemlerinin işlevselliği, uzun dönem performans, sosyal-ekonomik etkiler ve performans ölçütlerine göre değerlendirmektedir. Bölgesel ve ulusal koşullarda göz önünde bulundurularak uluslararası kullanılan bir YDD aracıdır [Bozkurt, 2007; Tuna Taygun, 2005].

TEAM, Ecobilan'ın oluşturduğu bir YDD yazılımıdır. TEAM™ programı ile kullanıcının kapsamlı bir veritabanı oluşturması ve kullanması, ürünler, süreçler ve eylemler ile ilişkili işlemlerin gösterildiği bir sistemin modellenmesi sağlanmaktadır. Ayrıca TEAM™ herhangi bir endüstriyel bir sistemin tanımlanmasına, ISO 14040 standartlarına göre olası çevresel etkilerinin ve yaşam döngü verilerinin

hesaplanmasına olanak vermektedir [Ecobilan, TEAM™ (Tool for Environmental Analysis and Management), 2009].

GaBi, 1992 yılından beri Stuttgart Üniversitesi ile PE Europe GmbH tarafından geliştirilen yaşam döngüsü mühendisliği ile YDD için tasarlanmış profesyonel bir yazılım programıdır [Bozkurt, 2007]. Yeni teknolojileri ve özellikleri ile sürdürülebilir bilgi yönetimine olan ihtiyacı karşılamak ve hizmetlerin veya ürünlerin yaşam döngüsünü değerlendirmek için kullanılan evrensel bir araçtır. GaBi aşağıda belirtilen alanlarda çözümler sağlamaktadır [GaBi, 2009]:

- Sera gazlarının etkisinin hesaplanması,
- Yaşam döngüsü değerlendirmesi,
- Yaşam döngüsü mühendisliği,
- Çevre tasarımı,
- Enerji korunumu çalışmaları,
- Şirketlerde eko dengeleme,
- Sürdürülebilirlik raporları,
- Çevresel raporlar,
- Stratejik risk yönetimi,
- Toplam maliyet hesaplaması.

GaBi'nin avantajları saydamlık ve esneklik, kapsamlı veritabanı ve veri deposu, senaryo hesaplaması ve parametre değişikliği ile hassas analiz ve YDD'nin ISO 14040'ı temel almış olması olarak sıralanabilir [Bozkurt, 2007].

GaBi yazılımının özellikleri incelendiğinde GaBi modüler esastır. GaBi'de planlar, işlemler, akışlar ve bunların işlevsellikleri modüler birimler oluşturmaktadır. Bu şekilde GaBi anlaşılır bir şekilde düzenlenmiş bir yapıyı sağlamaktadır. Etki değerlendirme verileri ile veri ve ağırlıklandırma modelleri birbirinden ayrılmaktadır. Bunun yararı YDD hesaplaması başladığında tek modüller kolaylıkla idare edilebilmekte ve sonrasında birbiriyle bağlantısı sağlanabilmektedir. Ayrıca, GaBi ile

ürünün yaşam döngüsünün tek modülleri grafiklerle gösterilebilmektedir. Yaşam döngüsünün birçok aşaması (üretim, kullanım ve atık) modüller içinde hem seçilebilir hem de bağımsız olarak değiştirilebilmektedir [GaBi, 2009].

GaBi veri tabanı sekiz yüz farklı enerji ve malzeme akışını içermektedir. Veri tabanı ayrıca dört yüz özel endüstriyel işlemi içeren on genel işlem çeşidini de kapsamaktadır. Bu on genel işlem çeşidi; endüstriyel işlemler, nakliye, maden kazma, güç tesisleri, dönüşüm işlemleri, hizmet, temizlik, tamirat, yıpranma ve azaltılmış tüketim işlemlerinden oluşmaktadır. İşlem çeşitleri içinde akışlarda yer almaktadır [Bozkurt, 2007].

Genel olarak programda yaşam döngüsü süreçleri; üretim, kullanım ve yıkım (yeniden kullanım) süreçleri açısından ele alınmaktadır. Etki değerlendirmeleri ise enerji tüketimi, hammadde tüketimi, sera gazı etkisi, asit etkisi, çevresel zehirler ve atık problemleri gibi pek çok açıdan ele alınmaktadır [GaBi, 2009].

Özellikle Almanya, Japonya ve Amerika'da kullanılan program makine mühendisleri, enerji mühendisleri, mimarlar, danışman firmalar, kamu hizmet kuruluşları, federal ajanslar, araştırma üniversiteleri ve araştırma laboratuvarlarınınca kullanılabilir.

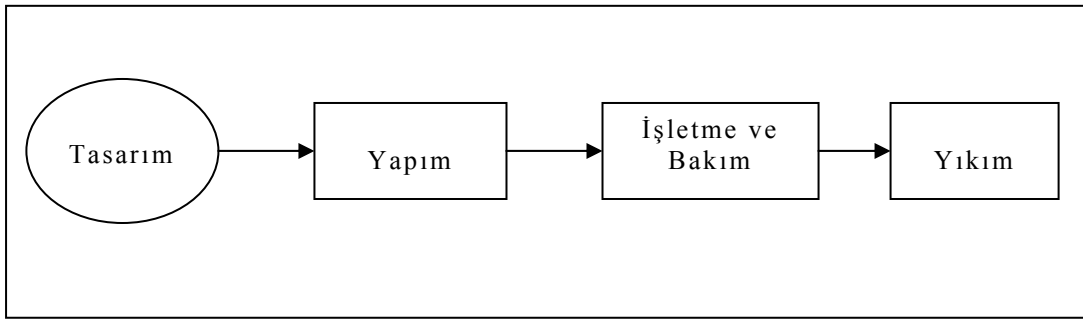
Tezin çalışma konusunu bağlı olarak Bölüm 3'te bir GaBi uygulaması ele alınmaktadır.

## **2.9. YDD'nin Yapı Malzeme ve Bileşenlerinde veya Tüm Binada Kullanımı**

YDD, inşaat sektöründe tüm sistem düzeylerinde uygulanabilmektedir. YDD'nin inşaat sektöründeki uygulamalarında iki ana yaklaşım ortaya çıkmaktadır. Bunlar: tüm binayı kapsayan yaklaşım ile yapı malzeme ve bileşenleri üzerine olan yaklaşımdır [Erlandsson ve Borg, 2003; Ortiz ve ark., 2009]. Ancak, YDD yönteminin uygulaması için öncelikle binanın ve yapı malzemelerinin yaşam döngüsünün içeriğinin anlaşılması gerekmektedir.

### 2.9.1. Binanın yaşam döngüsü

Geleneksel yaklaşımda binanın yaşam süreci tasarım, yapım, bakım-onarım ve yıkım olmak üzere dört evreyi içeren doğrusal bir işlemdir (Bkz. Şekil 2.9). Fakat bu modelde çevresel konuların (yapı malzemelerinin tedarik ve imalatı) veya atık yönetiminin (mimari kaynakların yeniden kullanımı ve geri dönüşümü) yer almaması bir problem oluşturmaktadır [Kim ve Rigdon, 1998b].



Şekil 2.9. Bina yaşam döngüsünün geleneksel modeli [Kim ve Rigdon, 1998b]

Binanın yaşam döngüsü de tıpkı yapı malzemelerinde olduğu gibi üç evrede sınıflandırılabilir: yapım öncesi evre, yapım evresi ve yapım sonrası evre [Çelebi, 2003; Kim ve Rigdon, 1998a]. Evreler birbiriyle ilişkili olup, arasındaki sınırlar açık değildir. Her bir evre içindeki binanın işleminin analizi; binanın tasarımının, inşasının, işleminin ve atık halinin eko sistemi nasıl etkilediğinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Kim ve Rigdon'un çalışmalarında evrelerin içeriği aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [Kim ve Rigdon,1998a].

*Yapım öncesi evre*, arsa seçimi, bina tasarımı ve yapı malzemelerinin elde edilme yöntemi (malzeme hammaddesinin çıkarılması, işlenmesi, imalatı ve taşınması) gibi süreçleri içeren bir evredir. Özellikle yapı malzemelerinin imalat yöntemleri çevreyi doğrudan etkilemektedir. Ağaçların kesilmesi, ormanların yok olmasına neden olmaktadır. Mineral kaynakların ve madenlerin çıkarılması (çelik için demir, alüminyum için boksit, beton için kum, çakıl ve kireçtaşının çıkarılması) doğaya zarar vermekte ve hatta bu malzemelerin ağırlığına ve arsaya olan uzaklıklarına bağlı

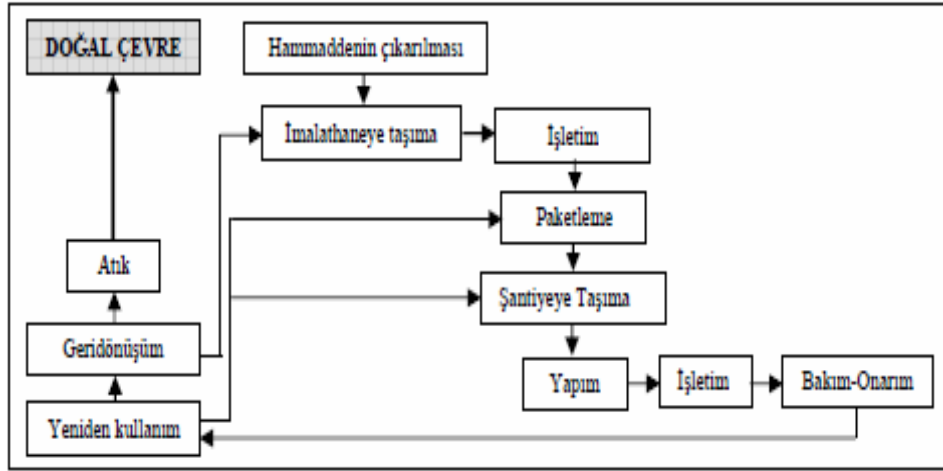
olarak nakliyesi de çevreyi yüksek oranda kirletebilmektedir. Yapı malzemelerinin üretilmesi yüksek oranda enerji gerektirir ve çevresel kirliliğe neden olmaktadır.

*Yapım evresi*, binanın fiziksel olarak inşa edildiği ve işletildiği süreci kapsar. Kaynak tüketimi, kaynakların çevresel etkilerini azaltma yolları, binanın kullanıcı sağlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve konfor ölçütlerinin sorgulanması bu evrede gerçekleştirilmelidir.

*Yapım sonrası evre*, binanın hizmet ömrü sona erdiğinde başlamaktadır. Bu evrede atık yapı malzemeleri veya elemanları diğer binalar için kaynak olabildiği gibi doğada çözünebilecek bir madde de olabilmektedir. Sürdürülebilir tasarım hedefi altında yapının ve yapı malzemelerinin geri dönüşümü ve yeniden kullanımı ile inşaat atıklarının (atık arazilerindeki katı atıkların % 60'ını kapsamaktadır) azaltılabilme yöntemleri bu evrede irdelenmelidir.

### **2.9.2. Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü**

Yapı malzemesinin yaşam süreci hammaddenin çıkarılmasından, işlenmesine, imalatına, paketlenmesine, dağıtımına, kullanımına, yeniden kullanımına, geri dönüşümüne ve son olarak atık durumuna gelmesine kadar bir dizi evreden oluşmaktadır. Malzemelerin yaşam sürecindeki her evre beraberinde birtakım çevresel etkileri de getirmektedir. Yapı malzemelerinin yaşam süreci Şekil 2.10'da şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Yapı malzemelerinin yaşam süreci [Gültekin ve Çelebi, 2003]

Paulsen, yapı malzemelerinin yaşam döngüsü sürecinin dört farklı sistem düzeyine yerleştirilmiş altı evreden oluştuğunu belirtmektedir. Evreler malzemenin kronolojik olarak yaşam süreciyle ilişkili olup, sistem düzeyi ise yapı malzemesinin yapıya katıldığı düzeyle ilişkilidir [Gültekin, 2006; Paulsen, 1999; Paulsen, 2001]. Şekil 2.11’de yaşam süreci evreleri ve sistem düzeyleri arasındaki ilişki verilmektedir [Çelebi ve Aydın, 2001; Gültekin, 2006; Paulsen, 2001; Tuna Taygun, 2005]. Bu evreleri sıralarsak:

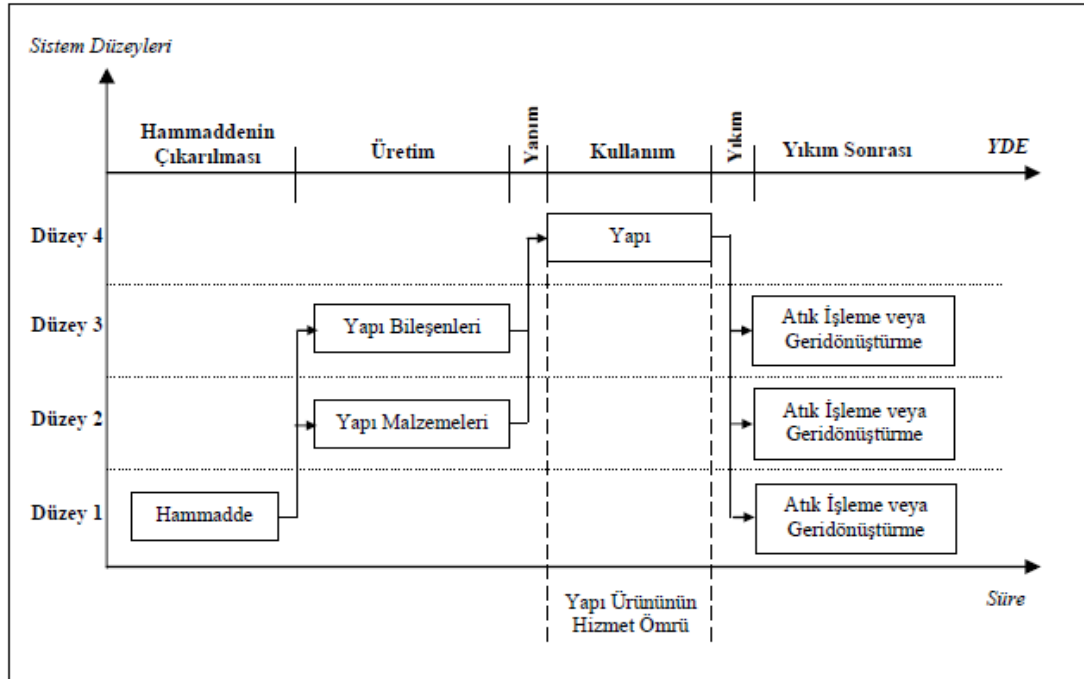
*Hammaddenin çıkarılması evresi*, kaynağından hammaddenin çıkarılmasıyla başlayıp hammaddenin çıkarıldığı noktadan işleme noktasına ulaşımıyla sona erer. Sistem düzeyi 1 içerisinde yer almaktadır. *Üretim evresi*, kaynağından çıkarılmış olan hammaddenin fabrikaya getirilmesiyle başlayıp; işlenmesi, paketlenmesi ve inşaat alanına taşınmasıyla sona erer. Malzeme çeşidine göre sistem düzeyi 2 veya 3 kapsamına girmektedir.

*Yapım evresi*, inşaat alanına yapı malzemelerinin getirilmesiyle başlayıp yapının inşa edilmesiyle sona erer. Fabrikada üretimi tamamlanan yapı malzemelerinin şantiyede parça eleman veya bileşen bazında bir araya getirilerek yapının inşa edildiği evredir. Bu evrede yapı malzemesi sistem düzeyi 1, 2 veya 3’ten sistem düzeyi 4’e ulaşmaktadır.

*Kullanım evresi*, yapımı tamamlanan yapının kullanıldığı ve gerektiği dönemlerde bakım-onarımının yapıldığı (temizlendiği, yıpranan, zarar gören bölümlerinin yenilendiği) evredir. Sistem düzeyi 4 içerisindedir. Bu evrede yapı malzemeleri bir işleve hizmet etmeye başlamaktadır.

*Yıkım evresi*, yapının yıkılarak hizmet ömrünün sona erdiği evredir. Yapının yıkımı, yapı ürünlerinin sahip olduğu işlevlerin de sona ermesi demektir.

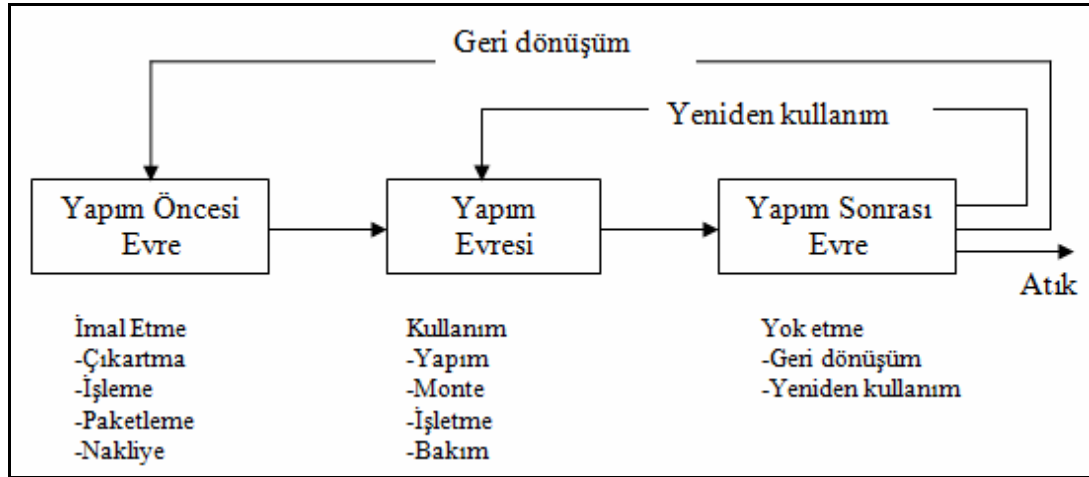
*Yıkım sonrası evre*, yapının yıkımıyla yapıdaki işlevin tamamlayan yapı malzemelerinin atıldığı evredir. Yapıdan artakalan malzeme ve/veya bileşen bazındaki yapı malzemeleri, geri dönüştürülerek veya yeniden kullanılarak yeni bir uygulamada değerlendirilebilir veya farklı yöntemlerle atılabilir. Bu evrede yapı malzemeleri değerlendirme şekillerine göre sistem düzeyi 1, 2 veya 3 içerisinde yer alabilir.



Şekil 2.11. Bir yapı malzemesinin yaşam sürecindeki sistem düzeyleri [Gültekin, 2006; Paulsen, 1999; Paulsen, 2001]



Kim ise çalışmasında malzemenin yaşam döngüsünün üç evrede ele almaktadır. Bunlar yapım öncesi, yapım ve yapım sonrası evre olup Şekil 2.12’de bu evreler ve kapsam alanları yer almaktadır [Kim ve Rigdon, 1998a].



Şekil 2.12. Malzemenin yaşam döngüsü [Kim ve Rigdon, 1998a]

Yapı malzemelerinin malzeme veya bileşen bazında karşılaştırılması, iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için malzemelerin yukarıda belirtilen yaşam döngüsü sürecinde çevresel etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak malzemelerin çevresel etkileri ülkeden ülkeye veya tesisten tesise farklılık gösterebilmektedir. Bunun nedeni de malzemeye üretim sırasında uygulanan değişik teknolojilerin ve yöntemlerin mevcut olması ile iklimsel farklılıklardır [Esin, 2007].

YDD yönteminin yapı malzemelerinin yaşam döngüsü ile binanın yaşam döngüsü evrelerindeki çevresel etkilerin değerlendirilmesinde kullanılmasının anlaşılabilirliği için farklı ülkelerde YDD uygulanmış çalışmaların incelenmesi gerekir.

### 2.9.3. YDD'nin uygulandığı çalışmalar (Case Studies)

Kaynaklarda inşaat sektöründe YDD yöntemini esas alarak çevresel etkilerin araştırıldığı farklı ülkelere 1998-2009 yılları arasında yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde çalışmaların bir kısmında YDD yönteminin yapı malzeme ve

bileşenleri üzerine uygulandığı, bir kısmında ise tüm bina üzerine uygulandığı görülmektedir. Bu nedenle YDD uygulanmış çalışmalar iki sınıfta ele alınmaktadır: YDD'nin yapı malzeme ve bileşenleri üzerine uygulandığı çalışmalar ve YDD'nin tüm binada uygulandığı çalışmalar.

#### YDD'nin yapı malzeme ve bileşenleri üzerine uygulandığı çalışmalar

Binalarda yapı malzeme ve bileşenleri üzerine YDD uygulanmış çalışmalar araştırıldığında bu konu üzerinde birçok ülkede çalışma yapıldığı ve bu çalışmaların kapsamlarına bakıldığında da farklı yapı malzemelerinin ele alınarak bu malzemelerin çeşitli çevresel etkilerinin analiz edildiği görülmektedir.

Bu çalışmalar arasında Ardente ve ark. kenaf liflerinden yapılmış ısı yalıtım plakalarının çevresel etkilerini [Ardente ve ark., 2008], Citherlet ve ark. gelişmiş pencerelerde farklı cam sistemlerinin üretim/bakım evrelerinde enerji tüketimini, küresel ısınmayı, asitleşme potansiyelini, fotokimyasal oksit oluşumunu ve atık üretimini [Citherlet ve ark., 2000] YDD yöntemiyle analiz etmişlerdir. Nicoletti ve ark. İtalya ekonomisinde önemli bir rolü olan seramik ve mermer karoların malzemelerin çevresel özelliklerini karşılaştırmak ve sorunlu noktalarını belirlemek için [Nicoletti ve ark., 2002], Seppala ve ark. Finlandiya metal endüstrisi ürünlerinin [Seppala ve ark., 2002], Petersen ve Solberg Norveç ve İsveç'te ahşap ve alternatif malzemelerin [Petersen ve Solberg, 2005], Nebel ve ark. Almanya'da ahşap döşeme kaplamalarının çevresel etkilerini ortaya koymak için [Nebel ve ark., 2006], Schmidt ve ark. çatı yalıtımı için kullanılmış olan taş yünü, keten ve geri dönüşüm ürünlerini temsil eden kâğıt yününden yapılmış olan yalıtım malzemelerinin çevresel olarak hangisinin daha tercih edilebilir olup olmadığı yönündeki sorulara açıklık getirmek için YDD yöntemini kullanmışlardır [Schmidt ve ark., 2004].

Wu ve ark. YDD'nin üçüncü adımı olan etki değerlendirmesini çalışmalarında ele alarak, üç çeşit çimento ve beş çeşit strüktürel demirin çevresel etkilerini [Wu ve ark., 2005], Koroneos ve Dompros Yunanistan'da tuğla üretimindeki farklı safhalar ve her safhadaki malzeme ve enerji kullanımı [Koroneos ve Dompros, 2007], Asif ve

ark. İskoçya’da 3 yatak odalı yarı bitişik olan bir konutta beş yapı malzemesinin (ahşap, alüminyum, cam, beton ve seramik) oluşum enerjisi ve çevresel etkisini [Asif ve ark., 2007] YDD yöntemi ile incelemişlerdir.

Paulsen yapı malzemesi seçiminin kullanım evresinde çevresel etkileri etkileyebileceğini belirterek, çalışmada kullanım safhasında yapı malzemesinin servis ömrü boyunca oluşan etki ile malzeme seçimi arasındaki bağlantı üzerinde durmuştur. Çalışmanın bulguları iki büyük proje olan İsveç’e özgü bina deposundaki yer kaplama malzemelerinin bakımına ait veri ile ofis binalarının enerji kullanımına ait veriye dayanmaktadır [Paulsen, 2001].

Kellenberger ve Althaus farklı bina bileşenlerinin (örnek: ahşap duvar, beton çatı) farklı seviyelerde sadeleştirilmesine ait YDD sonucunun ayrıntılı analizi için beş yapı bileşenini beş farklı seviyedeki detaylandırma içerisinde değerlendirmişlerdir [Kellenberger ve Althaus, 2008].

Türkiye’de ise yapı malzemelerinin YDD’si üzerine iki çalışma bulunmaktadır. Bunlardan biri Tuna Taygun’un yaptığı YDD yöntemine dayanan bir model ile PVC doğramaların yaşam döngüsü sürecindeki girdi ve çıktıları ve bunlardan etkilenen çevre gruplarının ortaya konduğu çalışmadır [Tuna Taygun, 2005]. Diğer ise Gültekin’in yaptığı YDD yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin yaşam döngüleri boyunca değerlendirilmesine yönelik açık uçlu bir model önerdiği ve bu modelin duvar kâğıtlarının kullanım evresindeki bakım-onarımının sebep olduğu çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için yapılmış olan çalışmadır [Gültekin, 2006].

#### YDD’nin tüm binada uygulandığı çalışmalar

Binanın tüm yaşam döngüsü veya yaşam döngüsünün belirli bir kısmında oluşan çevresel etkilerin tespit edilmesi için YDD yönteminin uygulandığı çalışmaları YDD’nin konutlarda uygulandığı çalışmalar ve YDD’nin konut haricindeki binalarda uygulandığı çalışmalar diye iki grup altında sınıflandırabiliriz.

*YDD'nin konutlarda uygulandığı çalışmaları;*

Konutların çevresel etkilerine olan ilgi arttıkça birçok araştırmacı YDD'yi konutlarda doğal kaynakların tüketimi ve küresel ısınma potansiyelini nicelendirmek için kullanmaya başlamıştır. Tarihsel olarak ilgi ise konutların işletim evresi süresince enerji kullanımına yönelik olmaktadır. Ancak, bu yaklaşımla yapı malzemelerinin oluşum enerjisi ihmal edilmektedir. Konutların çevresel etkilerinin toplamının anlaşılabilmesi için tüm yaşam döngüsü evrelerinin değerlendirilmesi gerekmektedir [Blanchard ve Reppe, 1998].

Konutların tüm yaşam döngü safhalarının incelendiği çalışmalar içinde Blanchard ve Reppe Michigan'daki bir konutta tüm yaşam döngüsü boyunca toplam yaşam döngüsü enerji tüketimini ve küresel ısınma potansiyelini [Blanchard ve Reppe, 1998], Koroneos ve Kottas Yunanistan'da mevcut bir evin yıllık enerji tüketimini [Koroneos ve Kottas, 2007] YDD ile değerlendirmişlerdir. Peuportier YDD'yi ısı simülasyonu ile birleştirerek Fransa' da üç tane konutun karşılaştırmasında kullanmıştır [Peuportier, 2001].

Adalberth ve ark. yaşam döngüsünde hangi evrenin çevresel etkisinin en fazla olduğunu, çevresel etki ile enerji kullanımı arasında bir paralellik olup olmadığını ve bina inşası seçiminin çevresel etkide farklılıklar yaratıp yaratmadığını ortaya koymak için 1996 yılında İsveç'te inşa edilen dört tane konutun çevresel etkisinde YDD yöntemini kullanmışlardır [Adalberth ve ark., 2001].

Hollanda'ya özgü sürdürülebilir ev inşasının çevresel faydalarını ortaya koymak için Klunder sürdürülebilir malzeme kullanımı ve sürdürülebilir enerji tüketimi ile ilişkili olarak birtakım etkenlerde değişiklikler yaparak (örn. yenilenebilir malzeme kullanılması, bina kabuğunda ısı dirençte artış vb.) referans bir ev ile sürdürülebilir evin karşılaştırmasını yapmış ve değerlendirmiştir [Klunder, 2004].

Ortiz ve ark. Barselona'da bulunan 160 m<sup>2</sup> toplam alana sahip, hizmet ömrü 50 yıl olarak projelendirilen tipik bir İspanyol Akdeniz konutunun yaşam döngüsü çevresel

etkilerini altı grupta incelemiştir. Bunlar: asitleşme potansiyeli, insan zehirlenmesi etkileri, küresel ısınma, abiyotik kaynakların tükenimi, ozon tabakasının incilmesi ve eko zehirlilik [Ortiz ve ark., 2009].

Blengini çalışmasında kullanım evresinin binaların yaşam döngüsünün en önemli evresi olarak kabul edilmiş olmasına rağmen binaların yaşam döngüsünün tüm evrelerinin çevresel etkisinin değerlendirilmesi gerektiğini ve inşaat sektöründe çevresel etkiye olan ilginin yapı malzemelerinde de çevreye duyarlı ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılmasını önemli hale getirdiğini belirtmektedir. Bu nedenle de yıkılmış binadan kalan atık malzemelerle ne yapılacağı ve bunların hiç kullanılmamış malzemenin yerini ne ölçüde tutacağına dair bir çalışmayı Turin, İtalya'da 2004 yılında kontrollü bir patlatma sonucu yıkılmış olan bir konutun YDD'sini inceleyerek yapmıştır [Blengini, 2008].

Türkiye'de ise Bozkurt İzmir'de yirmi adet konut üzerinde YDD yöntemine dayanan modelin geliştirilmesi ve uygulanması üzerine bir çalışma yapmış ve bu konutların değerlendirme modelinde ATHENA değerlendirme metodunu kullanmıştır. Konutlarda enerji tüketimi, katı atık oluşumu, su kirlilik indeksi, hava kirlilik indeksi, küresel ısınma potansiyeli ve doğal kaynak kullanımı konularında karşılaştırmalı analiz yapılmıştır [Bozkurt, 2007].

*YDD'nin konut haricindeki diğer binalarda uygulandığı çalışmalar;*

Arena ve Rosa Mendoza-Arjantin'teki bir okulda geleneksel yapımla enerji koruma teknolojileri kullanılması arasında üretim ve kullanım safhasında olan oluşan etkileri karşılaştırmak için küresel ısınma, asit yağmuru, kaynak tüketimi, besin birikimi ve zehirlenme etkilerini analiz etmiştir. [Arena ve Rosa, 2003]. Scheuer ve ark. 7300 m<sup>2</sup> lik 6 katlı 75 yıl hizmet ömrü olacak şekilde projelendirilen Michigan Üniversitesi kampüsünde yer alan yeni üniversite binası için YDD'yi uygulamış ve çalışmada enerji tüketimi ve çevresel etkilerin yaşam döngü dağılımının binanın işletme safhasında yoğunlukla gerçekleştiği sonucunu ortaya koymuştur [Scheuer ve ark., 2003].



Çizelge 2.4 (Devam). İnşaat sektöründe uygulanan YDD' lerin özellikleri

Çalışmalar	Yapı malzeme ve bileşenlerinde	Tüm binada	İçerik, ülke, yıl	Analiz Edilen Çevresel Etkiler													
				Küresel ısınma	Asitleşme	Besin birikimi	Fotokimyasal oksidan oluşumu	İnsan zehirlenmesi	Eko zehirlilik	Abiyotik kaynakların tüketimi	Havaya bırakılan salımlar	Atık oluşumu	Enerji tüketimi	Su tüketimi	Kaynak tüketimi	Diğer	
Blanchard ve Reppe (1998)		X	Michigan'daki bir konut için YDD uygulaması, Amerika, 1998	X											X		
Blengini (2008)		X	Turin, İtalya'da kontrollü bir patlatma sonucu yıkılmış olan bir konutta YDD uygulaması, 2008	X	X	X	X								X		X
<b>Bozkurt (2007)</b>		X	<b>İzmir'de yirmi adet konutun YDD ile analizi, Türkiye, 2007</b>	X								X	X	X		X	X
Chau ve ark. (2007)	X		Hongkong'ta yirmi beş adet ticari binanın YDD ile yapı malzemeleri ve hizmet bileşenlerinin incelenmesi, 2006	X	X	X		X	X				X			X	X
Citherlet ve ark. (2000)	X		Pencere ve gelişmiş cam sistemleri üzerine YDD uygulaması, Avrupa, 2000	X	X		X						X	X			
<b>Çakmaklı (2007)</b>	X		<b>Ankara'daki üç tane beş yıldız otelin yenileme projelerinde kullanılan malzemelerin YDD ile incelenmesi, 2007</b>	X								X	X	X		X	X
<b>Gültekin (2006)</b>	X		<b>Duvar kâğıtlarının YDD ile incelenmesi, Türkiye, 2006</b>					X									
Junnila (2004)		X	Finlandiya ve Amerika'da toplam dört adet ofis binasına YDD uygulaması, 2004	X	X	X								X			X
Kellenberger ve Althaus (2008)	X		Beş yapı bileşeninin beş farklı seviyedeki detaylandırma içerisinde YDD ile incelenmesi, İsviçre, 2008											X			
Klunder (2004)		X	Hollandaya özgü sürdürülebilir ev inşasında YDD uygulaması, 2004	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X
Koroneos ve Dompros (2007)	X		Yunanistan'da tuğla üretiminde YDD uygulaması, 2006	X	X	X							X				X
Koroneos ve Kottas (2007)		X	Thessaloniki, Yunanistan'da mevcut bir evin yıllık enerji tüketiminde YDD uygulaması, 2007	X	X	X	X							X			X

Çizelge 2.4 (Devam). İnşaat sektöründe uygulanan YDD'lerin özellikleri

Çalışmalar	Yapı malzeme ve bileşenlerinde	Tüm binada	İçerik, ülke, yıl	Analiz Edilen Çevresel Etkiler													
				Küresel ısınma	Asitleşme	Besin birikimi	Fotokimyasal oksidan oluşumu	İnsan zehirlenmesi	Eko zehirlilik	Abiyotik kaynakların tüketimi	Havaya bırakılan salımlar	Atık oluşumu	Enerji tüketimi	Su tüketimi	Kaynak tüketimi	Diğer	
Nebel ve ark. (2006)	X		Almanya'da döşeme kaplamalarının YDD ile incelenmesi, 2006	X	X	X	X							X			X
Nicoletti ve ark. (2002)	X		İtalya'da seramik ve mermer karoların YDD ile karşılaştırılması, 2002	X	X		X	X		X	X			X			X
Ortiz ve ark. (2009)		X	Barcelona'da tipik İspanyol Akdeniz bir konutta YDD uygulaması, 2008	X	X			X	X	X							X
Paulsen (2001)	X		Kullanım safhasında yapı malzemeleri seçiminin YDD ile incelenmesi, İsveç, 2001	X	X						X		X			X	
Petersen ve Solberg (2005)	X		Norveç ve İsveç'te ahşap ve alternatif malzemelerin karşılaştırılmasının YDD ile yapılması, 2005	X	X	X	X	X	X								
Peuportier (2001)		X	Fransa'da üç çeşit konutun karşılaştırılmasında YDD uygulaması, 2001	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Scheuer ve ark. (2003)		X	Michigan Üniversitesi kampüsünde yer alan yeni üniversite binası için YDD uygulaması, Amerika, 2003	X	X		X					X	X				X
Schmidt ve ark. (2004)	X		Batı Avrupa marketinde yer alan çatıda kullanılacak olan üç yalıtım malzemesi üzerine YDD uygulaması, 2004	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X
Seppala ve ark. (2002)	X		Finlandiya metal endüstrisi ürünleri için YDD uygulaması, 2002	X	X	X	X	X	X			X	X				X
<b>Tuna Taygun (2005)</b>	<b>X</b>		<b>PVC doğramaların YDD ile incelenmesi, Türkiye, 2005</b>									<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>
Xing ve ark. (2008)		X	Şangay, Çin'de farklı bina yapıları için oluşan iki ofis binası için YDD uygulaması, 2008	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X
Wu ve ark. (2005)	X		Farklı yapı malzemelerinin YDD ile incelenmesi, Çin, 2005	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X



#### 2.9.4. YDD uygulanmış çalışmaların değerlendirilmesi

İnşaat sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanması için uygulanan YDD yönteminin yapı malzeme ve bileşenlerinin veya tüm binanın enerji tüketimi ve çevresel etkilerinin saptanması için uygulandığı çalışmalar (Bkz. Çizelge 2.4) incelendiğinde her iki kategori arasında ortak noktalar ve farklılıklar tespit edilebilmektedir. Bu ortak noktalar ve farklılıklar aşağıda maddeler halinde verilmektedir:

- Çalışmalar ağırlıklı olarak sürdürülebilirliğin göstergelerin değerlendirilmesi ve kullanımı üzerinedir. Kaynakların etkin bir şekilde kullanımı, enerji tüketiminin azaltılması ve kirliliğin engellenerek çevre kalitesinin geliştirilmesini içermektedir.
- Binanın yaşam döngüsünün işlem olarak sabit olmadığı bir binadan diğerine değiştiği, bunun da nedeninin binanın işlevi ve farklı karakterdeki mühendislik özellikleri ile ilişkili olduğu görülmektedir. Örneğin yapım teknikleri, mimari stil ve iklim, kültürel tüketim davranışları ve ev kullanım büyüklüğü gibi özellikler ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Ayrıca, binanın yaşam döngüsü evreleri süresince tasarımda olan bir değişiklik çevreyi farklı etkilemektedir [Ortiz ve ark., 2009].
- YDD yönteminde yer alan işlevsel birim incelendiğinde yapı malzeme ve bileşen birleşimindeki işlevsel birim son ürün üzerineyken, binada işlevsel birim konut, bina veya kullanılabilen yüzey alanınının m<sup>2</sup> si olarak analiz edilmektedir [Ortiz ve ark., 2009].
- Binaların projelendirilmesi ve inşaatı yapı malzeme ve yapı bileşen birleşimleriyle karşılaştırıldığında daha karışık işlemlere sahip olup çok sayıda varsayım yapılabilmektedir. Yapı malzemeleri ve ürünlerinde ise işlemler tek bir ürün üzerine olmaktadır [Ortiz ve ark., 2009].
- Yapı ve yapı ürünleri diğer endüstriyel ürünlere göre uzun hizmet ömrüne sahip olup ürünün yaşam ömrü süresince birçok faktör dâhil olmakta ve bu da özellikle

kullanım safhasında yaşam ömrü süresince olan etkiyi tahmin etmeyi zorlaştırmaktadır [Paulsen, 2001].

- Bina YDD'si için veriler mimarlardan, mühendislerden, proje çizimlerinden, tedarikçilerden sağlanırken, yapı malzemeleri yaşam döngüsü tamamen endüstriyel tabanlı bir değerlendirmeyi içermekte ve veriler bu sektörde çalışan insanlardan alınmaktadır [Ortiz ve ark., 2009].
- Çalışmalar daha çok çevresel etkiler üzerinedir. Tüm binanın YDD'sine bakıldığında kültürel tüketim davranışlarından gelen çevresel etkiler, kullanım safhasındaki çevresel etkiler, daha iyi yalıtım alternatifi veya daha az çevresel etkiye sahip bir başka malzemenin binada kullanılması gibi çalışmaları içermektedir. Yapı malzeme ve bileşen birleşimlerinin YDD'si ise ürünlerin karşılaştırılması, yeni ürünlerin uygulanması ve ürünlerin çevresel etkilerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalardan oluşmaktadır [Ortiz ve ark., 2009].
- Etki sınıflarının seçimi yaygın olarak analiz edilen çevresel etkiler arasından yapılmaktadır. En çok tanımlanan çevresel etkiler küresel ısınma potansiyeli, asitleşme, besin birikimi ve enerji tüketimi olmaktadır. Bunların dışında diğer çevresel etkilerde bazı çalışmalarda ele alınmaktadır. Örneğin: su tüketimi, hava kirliliği ve ekolojik sistemin kirlenmesi gibi [Ortiz ve ark., 2009].
- Küresel ısınma potansiyeli en önemli çevresel etki olarak görülmektedir. Bu çevresel etki en fazla kullanım evresinde ortaya çıkmaktadır. Bunun da nedeni binada hizmet ömrü boyunca ısıtma, havalandırma ve iklimlendirmeden kaynaklanan belirgin bir kullanım döneminin olmasıdır [Ortiz ve ark., 2009]. Bu da inşaat sektöründe çevresel etkide işletme evresinin en kritik evre olduğunu göstermektedir.
- Birçok çalışmanın bina yaşam döngüsünün belirli bir evresini ele aldığı çok azının tüm binanın yaşam döngüsünü ele aldığı görülmektedir. Tüm binanın yaşam döngüsünü ele alan çalışmalara örnek olarak Peuportier Fransa'da inşa edilmiş üç farklı özelliğe sahip konutu YDD yöntemi kullanarak karşılaştırmıştır. Blanchard ve

Reppe YDD'yi Michigan'daki bir konut için uygulamıştır. Adalberth İsveç'te inşa edilen dört tane konutun yaşam döngüsü için YDD modelini kullanmıştır [Ortiz ve ark., 2009].

- Çalışmalarda YDD'nin, genellikle konutların çevresel etkisini belirlemek veya konutlarda kullanılan farklı yapı malzemelerinin enerji tüketimini ve çevresel etkilerini ortaya koymak için yapıldığı görülmektedir. YDD ile incelenen yapı malzemeleri tuğla, ahşap, seramik, mermer karo döşeme kaplamaları, ısı yalıtım malzemeleri, PVC doğramalar, pencereler, metal endüstrisi ürünleri, duvar kâğıtları, alüminyum, cam ve betondur.

- Çalışmaların yapıldığı ülkelere bakıldığında YDD çalışmalarının daha çok Avrupa ve Amerika'daki gelişmiş ülkelerde yapıldığı, gelişmekte olan ülkelerde bu konu üzerinde yapılan araştırmalara kaynaklarda çok fazla rastlanılmamaktadır. Türkiye'de bu konuya çok fazla önem verilmediğinden sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Türkiye'de yapılmış olan dört çalışma çizelgede (Bkz. Çizelge 2.3) belirtilmektedir. Bunlardan biri İzmir'deki konutların yaşam döngüsü üzerine, diğeri Ankara'da beş yıldızlı otellerin yenileme projelerinde kullanılan malzemeler üzerine, diğerleri ise PVC doğramalar ve duvar kâğıtları üzerine yapılmıştır.

YDD üzerine ülkemizde çok fazla çalışmanın bulunmaması nedeniyle Bölüm 2.7'de sunulan YDD yöntemi çerçevesinin anlaşılabilirliği ve uygulanabilirliğine bir katkı sağlamak amacıyla, örnek bir YDD çalışmasının yapılmasında fayda görülmektedir. Bölüm 3'te ısı yalıtım malzemelerinin YDD yöntemiyle çevresel etkilerinin değerlendirilmesine ait örnek bir çalışma sunulmaktadır.

### **3. ISI YALITIM MALZEMELERİNİN YDD YÖNTEMİYLE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Bu bölümde, Bölüm 2’de ifade edilen YDD yöntemi çerçevesinin uygulanmasına açıklık getirmek amacıyla örnek bir çalışma yapılmaktadır. Bu çalışma ile YDD yönteminin aşamalarının daha iyi bir şekilde anlaşılabilirliği hedeflenirken aynı zamanda YDD değerlendirme yöntemlerinden GaBi 4 ile çalışmada ele alınan malzemelerin çevresel etkilerin nasıl değerlendirilebileceği, programın nasıl kullanıldığı ortaya konmaktadır.

Örnek çalışma için Ankara, Yenimahalle’de TOKİ tarafından yapılmakta olan toplu konut inşaatı projesi ele alınmaktadır. Proje ile ilgili olarak bilgilere TOKİ’den ulaşılmakta olup, elde edilen bilgilerde toplu konutların dış duvarlarında ısı yalıtım malzemesi olarak EPS tercih edildiği ve buna göre inşaatların projesinin hazırlandığı görülmektedir.

Çalışmanın konusu Ankara, Yenimahalle’de TOKİ tarafından yapılmakta olan toplu konut inşaatlarında dış duvarlarda kullanılan EPS ısı yalıtım malzemesi ile buna alternatif bir ısı yalıtım malzemesi olarak seçilen taş yününün YDD yöntemiyle çevresel açıdan değerlendirilmesidir. Bölüm 2.1’de belirtildiği üzere YDD, yapı ürünlerinin veya hizmetlerinin yaşam döngüleri boyunca sebep olduğu çevresel etkilerin değerlendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, YDD yönteminin çerçevesi esas alınarak ısı yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü boyunca oluşacak çevresel etkileri ve bu etkilerin karşılaştırılması GaBi 4 yazılımı kullanılarak nicelendirilmektedir.

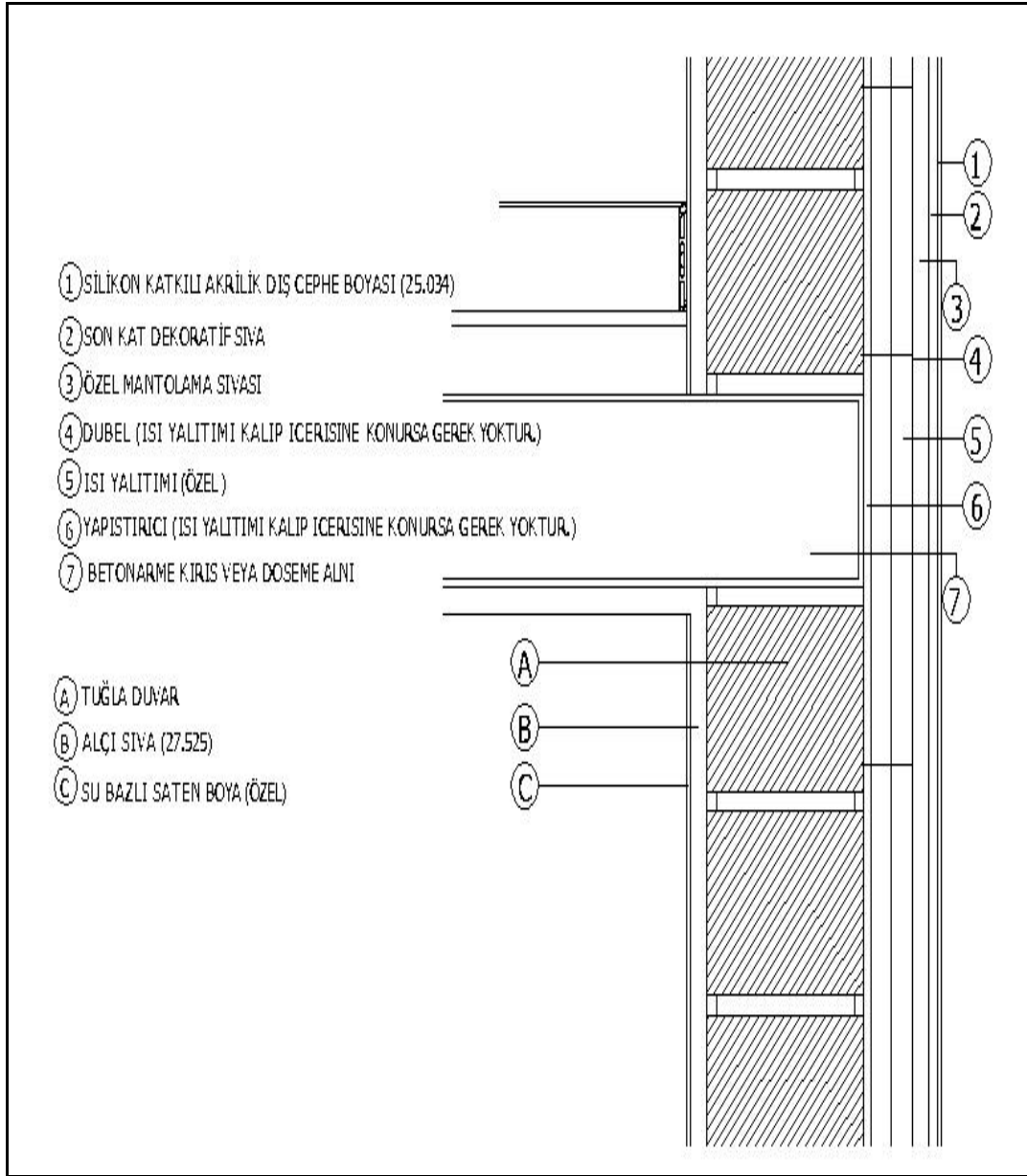
Çalışmada ilk olarak seçilen toplu konut projesi hakkında bilgi verilmekte ve bu projeye ait TOKİ’den elde edilen dış duvar açılımını gösteren kısmi detay çizimi ve projenin TS 825’e göre hazırlanmış olan ısı yalıtım hesap raporunda yer alan duvarlardaki malzeme açılımları ele alınmaktadır. Projede kullanılan EPS ısı yalıtım malzemesi ve buna alternatif olarak taş yünü için çalışmanın sonraki aşamasında YDD yöntemi çerçevesi ortaya konmaktadır. Sonraki aşamada ise bu iki ısı yalıtım

malzemesine ait üretici firmalardan, web sayfalarından ve konu ile ilgili yapılmış çalışmalardan elde edilen veriler GaBi 4 yazılım programı kullanılarak bu yalıtım malzemelerinin çevresel etkilerine ait sonuçlara ulaşılmaktadır. Çalışmada yalıtım malzemelerinin ele alınacak çevresel etkilerinin seçiminde daha önce YDD üzerine yapılmış olan çalışmalarda (Bkz. Çizelge 2.4) en çok hangi çevresel etkilerin analiz edildiği göz önünde bulundurulmaktadır. Bunun sonucunda Bölüm 2.7.3'te tanımlanan çevresel etki sınıflarından asitleşme, besin birikimi, küresel ısınma, fotokimyasal oksit oluşumu, insan zehirlenme potansiyeli, enerji tüketimi ve atık oluşumu seçilerek yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri GaBi 4 yazılım programı ile değerlendirilmektedir. Çalışmanın son aşamasında ise bu çevresel etkilerin değerlendirme sonuçları her iki yalıtım malzemesi için yorumlanmaktadır.

### **3.1. Örnek Toplu Konut Projesi**

TOKİ, Ankara'da Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'nın Yenimahalle'deki Tavukçuluk Araştırma Enstitüsünün arazisini alarak bu alanda 960 konut, kreş, sağlık ocağı, cami ve ilköğretim okulu yapılmasını planlamaktadır. Konutların büyüklüğü 148,5-192,4 metrekare arasında değişmektedir. İnşaatların yapımına 2008 yılında başlanmış olup proje toplam 18 bloktan oluşmaktadır. Üç tip proje arazide yer almaktadır: BK tipi (B+Z+10 kat), BK tipi (2B+Z+10 kat) ve CK tipi (2B+Z+16 kat). Tipler projenin bodrum sayısına göre ve ayrıca projenin 3 veya 4 odalı olmasına göre değişiklik göstermektedir. Her katta 4 konut dairesi yer almakta olup kat sayısı 11 ile 17 kattan oluşmaktadır. Bu projelerin üç tipinde de yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılmış olup ısı yalıtımı dıştan uygulanmaktadır.

Üç tipten biri olan BK (2B+Z+10 kat) tipine ait kısmi duvar detayı Şekil 3.1'de yer almaktadır.



Şekil 3.1. BK tipine ait kısmi duvar detayı

Toplu konutlarda Şekil 3.1’de yer alan kısmi duvar detayında görüldüğü üzere dış duvarlarda genelde dıştan ısı yalıtım uygulaması (mantolama) yapılmaktadır. Betonarme perde, kiriş, kolon yüzeyleri ile dış tuğla duvar yüzeylerine yapıştırıcı uygulanarak ısı yalıtım uygulaması tüm dış cepheyi kaplayacak şekilde yapılmakta ve bu ısı yalıtımı dübellerle alttaki malzemeye sabitlenmektedir. Bu işlemden sonra, ısı yalıtımı üzerine özel yalıtım (mantolama) sıvası uygulanmakta ve sonrasında



### 3.2. Ekspande Polistren (EPS)'nin ve Taş yününün YDD Yöntemi Çerçevesi

EPS ve taş yününün YDD yöntemi kapsamında değerlendirilmesinden önce her iki malzemenin özelliklerinin bilinmesinde yarar görülmektedir.

*EPS*, stiren monomerin polimerizasyonu ile petrolden elde edilen, köpük haldeki kapalı gözenekli, tipik olarak beyaz renkli bir termoplastik malzemedir. Polistren hammaddesinin su buharı ile teması sonucu, hammadde granüllerinin içinde bulunan pentan gazının granülleri şişirmesi ve birbirlerine yapıştırması sonucu meydana gelmektedir. Malzemenin %98 i havadır. Bu nedenle çok hafif bir malzemedir. Genel olarak 10-30 kg/m<sup>3</sup> yoğunlukta üretilir. Kullanım yeri amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde, değişik kenar ve yüzey şekillerinde levha ve kalıp olarak üretilebilmektedir. Isı yalıtımı ve ambalaj maksadıyla kullanılmaktadır. Isı iletkenlik beyan değeri  $\lambda \leq 0.040$  W/mK'dir. EPS, TS 7316 EN 13163 Standardına tabi bir üründür [İzocam, 2009a].

*Taş yünü*, yerli olarak temin edilen inorganik hammadde olan bazalt taşının 1350°C-1400°C'de eritilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşmaktadır. Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde, değişik kaplama malzemeleri ile şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilebilmektedir. Isı yalıtımı, ses yalıtımı, akustik düzenleme ve yangın yalıtımı amacıyla kullanılmaktadır. Isı iletkenlik beyan değeri  $\lambda \leq 0.040$  W/mK olup, TS 901-1 EN 13162 Standardına tabidir [İzocam, 2009b].

YDD yönteminin çerçevesi Bölüm 2.7'de belirtildiği üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar EPS ve taş yünü için sırasıyla aşağıda ele alınmaktadır.

#### 3.2.1. EPS ve taş yünü için amaç ve kapsam tanımı

YDD'nin ilk aşaması olan amaç ve kapsam tanımına göre bu çalışmanın amacı EPS'nin ve taş yününün beşikten kapıya (cradle to gate) olan süreçte sebep olduğu çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve karşılaştırmalı analizinin yapılmasıdır. Bu iki



malzemenin hangisinin çevresel etkisinin daha fazla olduğunu saptamaktır. Bunun için çalışmada varsayımlar, işlevsel birim, sistem sınırları, dağıtım yöntemleri, veri kalite gereksinimleri ve eleştirel gözden geçirme işlemi tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada her iki malzemenin yaşam döngüsü süresince bir takım çevresel etkilere neden olduğu *varsayılmaktadır*.

İşlevsel birim belirlenirken daha önce ısı yalıtım malzemeleri üzerine yapılmış olan ve Bölüm 2.9.3’de belirtilen iki çalışmadan faydalanılmaktadır. Bunlardan biri; Ardente ve ark.nın kenaf liflerinden yapılan yalıtım plakasının çevresel etkilerini analiz ettikleri çalışma [Ardente ve ark., 2008], diğeri ise Schmidt ve ark.nın ısı yalıtım malzemeleri üzerine gerçekleştirdikleri, çatı yalıtımında kullanılmak üzere üç farklı yalıtım malzemesinin çevresel etkilerini inceledikleri çalışmalarıdır [Schmidt ve ark., 2004].

Bölüm 2.7.1’de ifade edildiği üzere işlevsel birim, işlevi yerine getirecek ürünün miktarıyla ilişkili olmakta ve sistemler arasında karşılaştırmalar aynı işlev temeline göre yapılırken aynı işlevsel birimle ölçülmektedir. Isı yalıtım malzemeleri için işlevsel birim diğeri yapı malzemelerine göre farklılık göstererek ısıl performans ile ilişkili olmakta [Lavagna, 2006] ve fonksiyonel bulunan  $m^2K/W$  olarak ölçülen ısıl direnç değerini (R) esas almaktadır. Bu değer ısı yalıtımının yaşam süresince belirli ısıl direnci sağlamak için gerekli olan yalıtım malzemesi miktarı hakkında bilgi vermektedir [Ardente ve ark., 2008; Schmidt ve ark., 2004]. Bu ifadeye göre yalıtımın miktarı belirlenirken belli bir ısıl direnci sağlayan malzemeler arasında karşılaştırmalar yapılabilmektedir.

Çalışmada ısı yalıtım malzemelerinden EPS ve taş yünü için işlevsel birim tanımlanırken Avrupa Yapı Malzemeleri Üreticileri Birliği’nin (Council for European Producers of Materials for Construction-CEPMC) önermiş olduğu R-değeri  $1 m^2K/W$  olarak ele alınmaktadır [CEPMC, (2000)]. Buna göre *işlevsel birim*, kg olarak Eş. 3.1’deki gibi tanımlanmaktadır [Ardente ve ark., 2008; Schmidt ve ark., 2004].

$$\text{İşlevsel Birim} = R \times \lambda_{\text{tasarım}} \times d \times A \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte R, ısı direnci ( $1 \text{ m}^2 \times \text{K}/\text{W}$ );  $\lambda$ , ısı iletkenlik değerini ( $\text{W}/\text{m} \times \text{K}$ ); d, ısı yalıtım malzemesinin  $\text{kg}/\text{m}^3$  olarak yoğunluğunu; A,  $\text{m}^2$  olarak alanı (bu çalışmada  $1 \text{ m}^2$ ) ifade etmektedir.

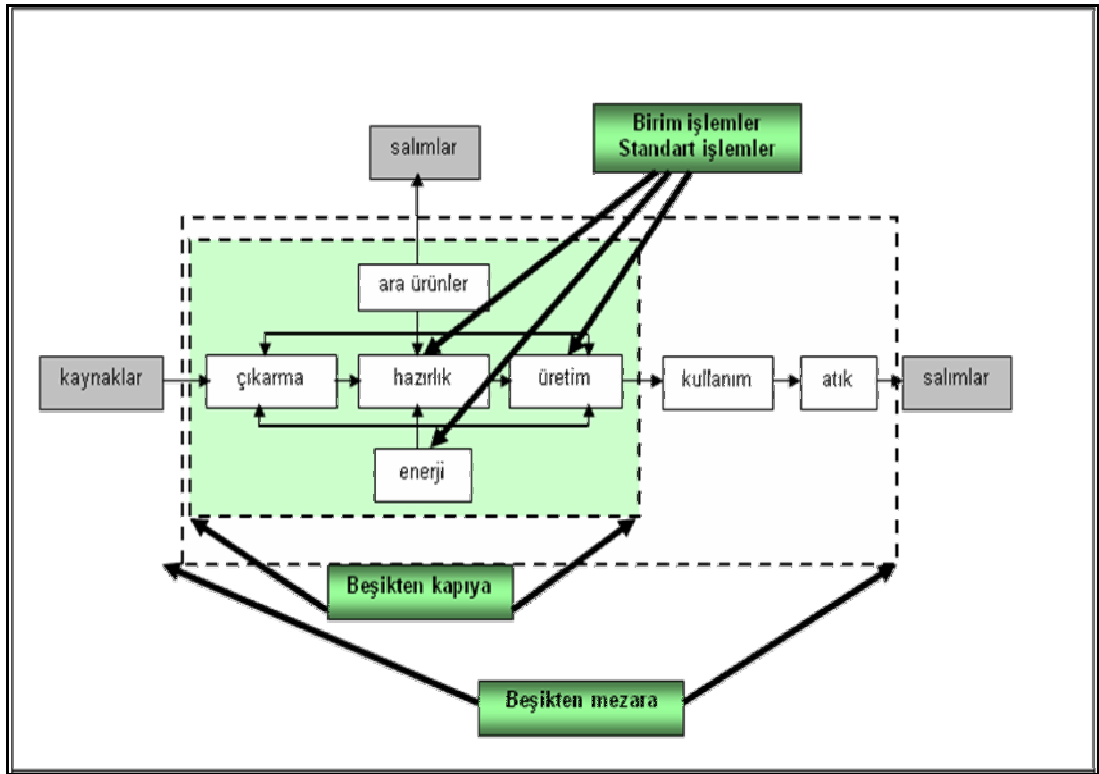
Yukarıdaki işlevsel birim tanımlamasına göre uygulanacak ısı yalıtım malzemesinin gerçek miktarı Çizelge 3.2'deki gibi hesaplanabilir.

Çizelge 3.2. 50 yıllık bir kullanım süresi için  $1 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  ısı direnci sağlamaya gerekli işlevsel birim (kg)

Malzeme	Isı iletkenlik değeri $\text{mW}/\text{m}^2\text{K}$	Yoğunluk $\text{kg}/\text{m}^3$	İşlevsel birim (kg)
EPS	40	16	0.64
Taş yünü	40	150	6

İşlevsel birimin tanımlanmasından sonra sistem sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. *Sistem sınırları*, ürüne ait YDD'de birim işlemlerin tanımlandığı, girdi ve çıktıları içeren kısım olduğundan çalışmada da EPS ve taş yününün yaşam döngüsü evrelerindeki ele alınacak birim işlemler ve bu birim işlemlerdeki girdi ve çıktılar tanımlanmaktadır. Çalışmada iki malzemenin çevresel etkileri incelenirken elde edilen malzemelere ait verilerin sadece hammadde ediniminden inşaat alanına gelene (beşikten kapıya-cradle to gate) kadar olan süredeki verileri kapsamaması, çevresel etkilerinde en çok bu evrelerde gerçekleşmesi nedeniyle tüm yaşam döngüsü yerine çalışmada bu süreç ele alınmaktadır. Kullanım evresinde her iki malzeme için bir çevresel etki söz konusu olmamaktadır. Yıkım sonrası evre için de yeterli veri bulunamadığından çalışmaya dâhil edilmemektedir. Çalışmada ele alınan süreçte, birim işlemlere olan malzeme, enerji, su gibi girdi akışları ile hava/su/toprağa olan salımlar, atıklar ve yan ürünler gibi çıktı akışları *sistem sınırlarını* oluşturmaktadır.

Şekil 3.2’ de “beşikten kapıya” ve “beşikten mezara” tanımının içeriği ifade edilmektedir. “Beşikten kapıya” hammaddenin çıkarılmasından, üretilmesi ve kullanım yerine gelmesine kadar olan süreci kapsarken, “beşikten mezara” hammaddenin çıkarılması, üretilmesi, kullanılması ve atık haline gelmesine kadar olan süreci içermektedir.



Şekil 3.2. Beşikten kapıya ve beşikten mezara tanımları [GaBi, 2009]

Çalışmada nakliye mesafesi için, hammaddenin fabrikaya getirilmesi için olan kısımda her iki yapı malzemesi de Dilova/Gebze’de yer alan İzocam fabrikasında üretilmekte olduğundan İzocam firmasından elde edinilen bilgiler doğrultusunda taş yünü için bu mesafe 75 km, EPS için İzmir’den temin edildiği belirtildiğinden İzmir-Dilova/Gebze arası uzaklık mesafesi olan 500 km alınmaktadır. Fabrikada üretilen EPS ve taş yününün inşaat yerine olan nakliyesinde ise mesafe 400 km olup hesaplamalara bu mesafe dâhil edilmektedir.

Çalışmada girdi ve çıktı akışlarının birim işlemlere *dağıtılmasında*, sistem sınırlarını oluşturan birim işlemlere ilişkin girdi akışlarından malzemeler ve enerji; çıktı akışlarından ise havaya, suya salımlar ve atıklar dikkate alınmaktadır.

*Veri kalite gerekleri*, EPS ve taş yünü için toplanacak verilerin zaman, coğrafya ve teknoloji ile ilgili değişkenlerini kapsamaktadır. Çalışmada son beş yıl içinde, uluslararası ölçekte ve yeni teknolojiyle uygulanan bu iki ısı yalıtım malzemesi için ilgili veriler belirli internet sayfalarından, yayımlanmış kaynaklardan, firmalardan elde edilerek dikkate alınmaktadır.

YDD çalışmasında kullanılan yöntemlerin uluslararası standartlara uygunluğunu doğrulama ve bu yöntemlerin bilimsel/teknik geçerliliğini sağlamaya yönelik olarak yapılan *eleştirel gözden geçirme işlemi* uzman kişilerin bir araya gelerek yaptıkları bir işlem olduğundan çalışmada yer almamaktadır.

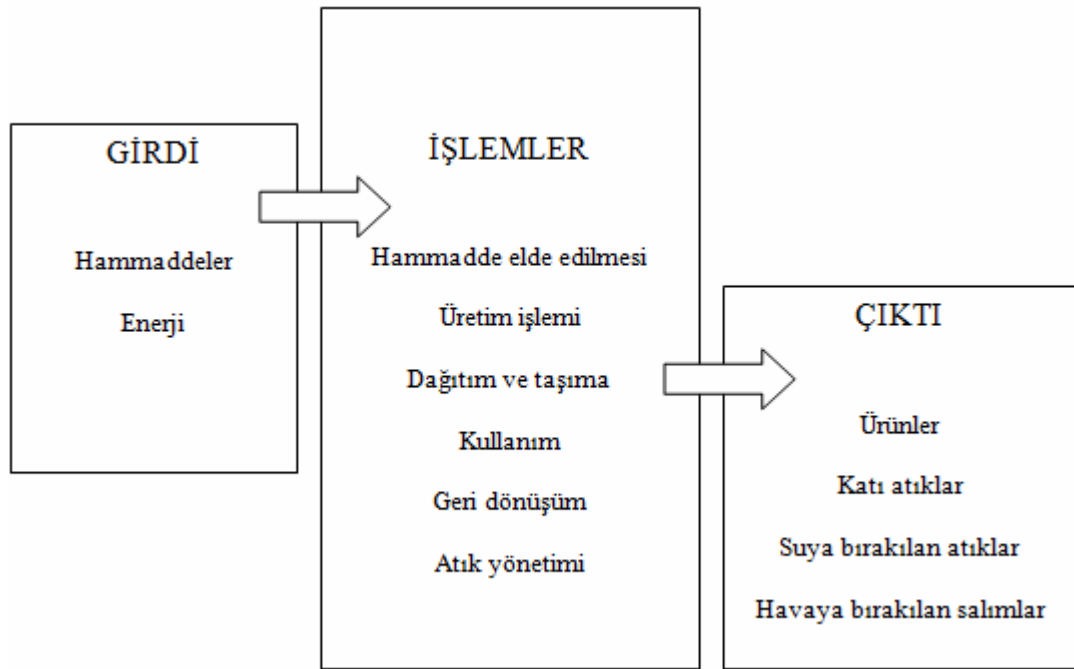
### **3.2.2. EPS ve taş yünü için yaşam döngüsü veri çözümlemesi**

Yaşam döngüsü veri çözümlemesi, çalışmada EPS ve taş yünü için veri toplama ve hesaplama yöntemlerinin oluşturulmasını ve sistem sınırlarının kesinleştirilmesini içermektedir. Bu aşamada, Bölüm 3.3.1’de amaç ve kapsamda tanımlanan EPS ve taş yünü için modellenmiş sistem bir akış şemasına dönüştürülmektedir. Ele alınan yaşam döngüsü evreleri boyunca enerji ve hammadde gereksinimleri, hava ve suya olan salımlar, katı ve diğer çevresel atıklar ısı yalıtım malzemeleri için belirlenmektedir.

Çalışmada bu iki ısı yalıtım malzemesinin üretimlerine ait bilgilere internet sayfaları, daha önce yapılmış çalışmalar ve İzocam firmasına başvurularak elde edilmiştir. EPS için GaBi 4 yazılım programında kullanılmak için gerekli olan veriler Sylvatica tarafından Athena Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsüne (Athena Sustainable Materials Institute) hazırlanmış olan bir rapordan [Sylvatica, 1998], taş yünü için ise Schmidt ve arkadaşlarının üç ısı yalıtım malzemesinin çevresel etkilerinin karşılaştırdıkları çalışmadan [Schmidt ve ark., 2004] alınmış olup, veriler çalışmada

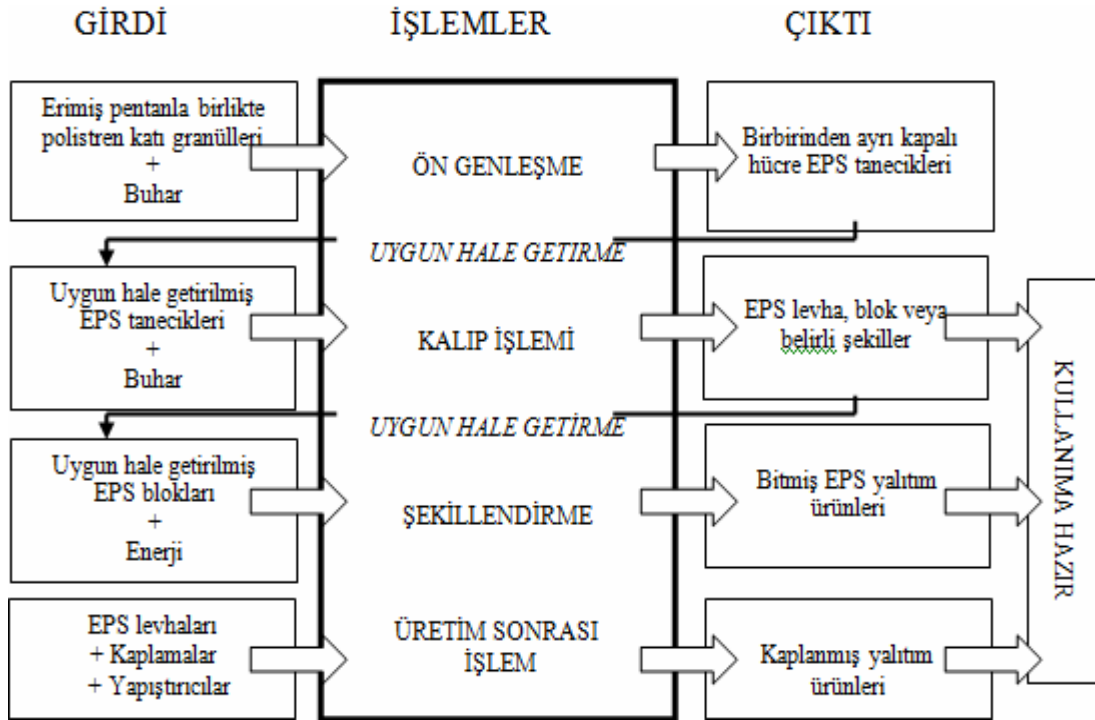
her iki yalıtım malzemesi için Bölüm 3.2.1’de belirlenen işlevsel birime (Bkz. Çizelge 3.2) göre dönüştürülmüştür.

EPS’nin yaşam döngüsü hammaddesinin elde edilmesiyle başlamakta ve yıkım sonrası işlemlerle son bulmaktadır. Aşağıdaki şekilde EPS’nin yaşam döngüsü şematik olarak gösterilmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. EPS’nin yaşam döngüsü şeması [Avrupa EPS Üreticileri Derneği, 2009]

Şekil 3.3’te yaşam döngüsü şeması sunulan *EPS*, pentanın polistren temelli malzemenin içinde çözülmesi ve sonrasında EPS taneciklerinin buharla oluşturulması ve yalıtım plakaları, blokları veya da paketleme endüstrisi için belirli şekillerin oluşturulması için bu taneciklerin kalıplaştırılması işleminden geçmesiyle meydana gelmektedir. Bu durumda EPS’nin yaşam döngüsü evrelerinden biri olan üretim süreci beş işlem sırasından oluşmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. EPS'nin üretim şeması [Avrupa EPS Üreticileri Derneği, 2009]

*Genleşmeden önce*, polistren granüller, birbiriyle bağlantısı olmayan hücreler serisinden oluşan daha büyük taneler oluşturmak üzere buharla genişletilir.

*Uygun hale getirme*, genişleme işleminden sonra oluşan taneler içlerinde hala küçük miktarda hem yoğunlaştırılmış buhar hem de pentan gazı içermektedir. Bu taneler soğuduğunda hava azar azar gözenekler içerisinde yayılarak buhar ve pentan gazının yerini almaktadır.

*Kalıp işlemi*, taneler plakalar veya bloklar oluşturmak üzere bu işlemde biçimlendirilir. Kalıp, köpük öncesi şekillendirmeyi sağlamaktadır ve buhar genişlemenin sağlanması için yeniden kullanılmaktadır. Kalıp işlemi esnasında buhar, taneciklerin yandaki diğer taneciklerle birleşmesini homojen bir ürün oluşmasını sağlamaktadır.

*Şekillendirme*, kısa bir soğutma işleminden sonra kalıplanmış bloklar makineden çıkartılır ve yeniden uygun hale getirme işleminden sonra bir takım tekniklerle kesilir veya şekillendirilir.

*Üretim sonrası işlem*, bitmiş ürün folyo, plastik veya diğer yüzey kaplamalarıyla duvarlarda veya çatıda kullanılmak üzere kaplanır.

Şekil 3.4'teki EPS üretim şemasına göre EPS'nin hammadde edinimi ve üretim sürecindeki girdi ve çıktılarına ait toplanan veriler 1 kg EPS ve işlevsel birim hesaplanması sonucu elde edilen 0,64 kg EPS (Bkz. Çizelge 3.2) için düzenlenerek Çizelge 3.3'te özetlenmektedir.

Çizelge 3.3. EPS için veri tablosu [Sylvatica, 1998]

Veri sonuçları		Birim	Toplam 1 kg EPS için sonuç	Toplam 0,64 kg EPS için sonuç
Enerji	Doğal gaz	MJ	39.30	25.15
	Elektrik	MJ	0.845	0.54
	Petrol	MJ	61,10	39,10
	Kömür	MJ	5,01	3,21
Kaynak tüketimi	Boksit	g	1.21	0.77
	Kil mineralleri	g	4.18	2.68
	Demir (cevher)	g	0.946	0.605
	Kireçtaşı	g	2.31	1.48
	Su	kg	30.60	19.58
Havaya salımlar	CO <sub>2</sub>	g	3590	2298
	CO	g	9.68	6.20
	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	g	20.60	13.18
	HCl	g	0.07	0.04
	Toz	g	3.61	2.31
	Ağır metaller	g	0.09	0.06
	HF	g	0.002	0.0013
	NO <sub>x</sub>	g	18.70	11.97
	SO <sub>x</sub>	g	20.90	13.38

Çizelge 3.3 (Devam). EPS için veri tablosu [Sylvatica, 1998]

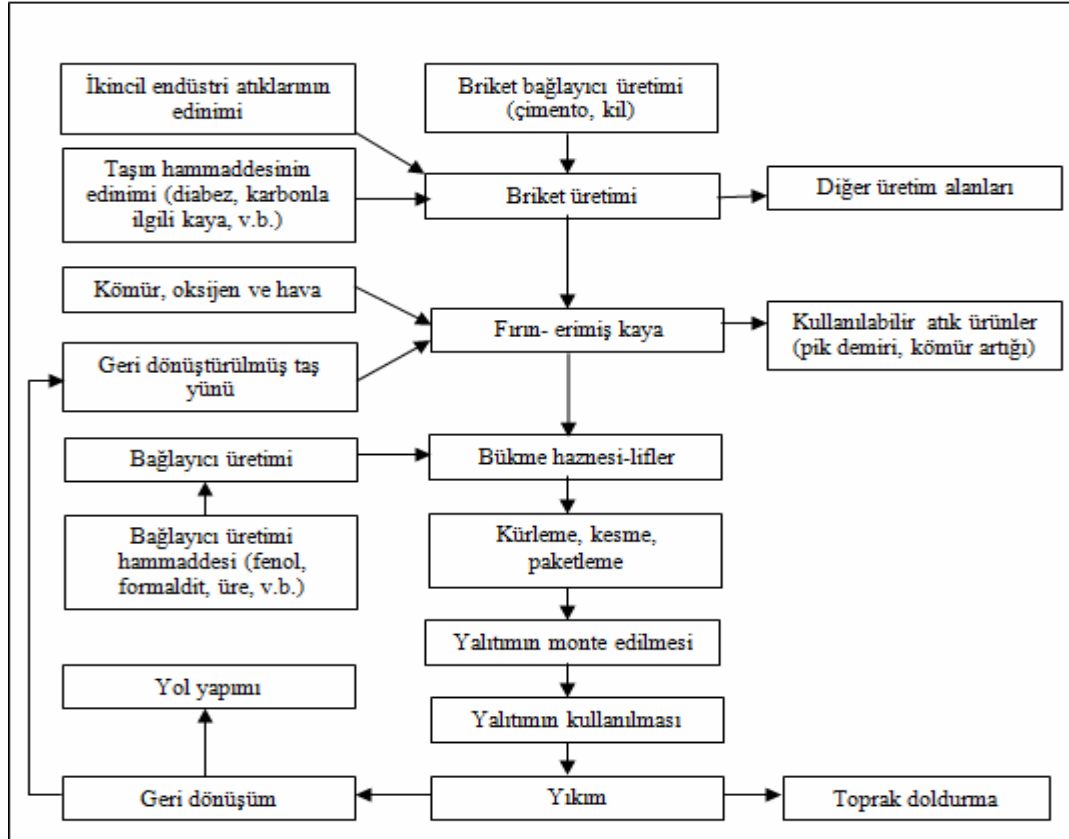
Veri sonuçları		Birim	Toplam 1 kg EPS için sonuç	Toplam 0,64 kg EPS için sonuç
Suya sınımlar	H+ asitler	g	0.048	0.031
	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD)	g	0.228	0.146
	Kimyasal oksijen ihtiyacı (COD)	g	1.32	0.84
	Cl-	g	3.96	2.53
	Cx Hy	g	0.118	0.076
	Deterjan /yağ	g	0.077	0.049
	Çözünmüş organikler	g	0.055	0.035
	Çözünmüş katı maddeler	g	0.176	0.113
	Metalik iyonlar	g	0.385	0.246
	Na	g	0.693	0.444
	NH4+	g	0.015	0.010
	Sülfat	g	0.132	0.084
	Katı maddeler	g	1.31	0.84
Toplam katı atık	Kimyasal atık	g	10.03	6.42
	Endüstriyel atık	g	3.52	2.25
	Cüruf/ kül	g	9.24	5.92
	Mineral atık	g	48.30	30.91

EPS'ye alternatif bir ısı yalıtım malzemesi olan taş yününün üretimi ise kaya/taşların edinimi, taşların eritilmesi, inceltilmiş lifler oluşturulması ve taş yünü haline gelmesi şeklinde özetlenebilir. Taş yününün detaylı yaşam döngüsü Şekil 3.5'te yer almaktadır.

Taş yünü için kullanılan ana hammaddeler briketin hammaddesinde kullanılan %77 oranındaki doğal taşlar (diabez, kireç taşı, alüminyum taşı) geriye kalan %23'lük oran ise endüstri atıklarından örneğin çimento ve demir üretiminden gelmektedir. Bağlayıcı sayısız kimyasallardan oluşmakta ve üretim safhasındaki malzeme girdisinin yaklaşık %8'ine denk gelmektedir. Fenol, formaldit ve üre reaktör içinde katalizör ile karıştırılmaktadır. Amonyak ve silan katalizörün geri dönüşüm için alındığı yerde çökelmeye eklenmektedir.



Fırın ocaktaki son üretim işlemi ise birçok aktiviteyi içermektedir. Dönen tekerler üzerine dökülen erimiş kayaya, bağlayıcı ve emdirilmiş yağ eklenmekte ve güçlü hava akışının etkisi ile lifler oluşmaktadır. Ürün, polimerizasyon bölümünde kurlanmakta ve son olarak taş yünü istenen ebatlarda kesilerek paketlenmektedir.



Şekil 3.5. Taş yününün yaşam döngüsü [Schmidt ve ark., 2004]

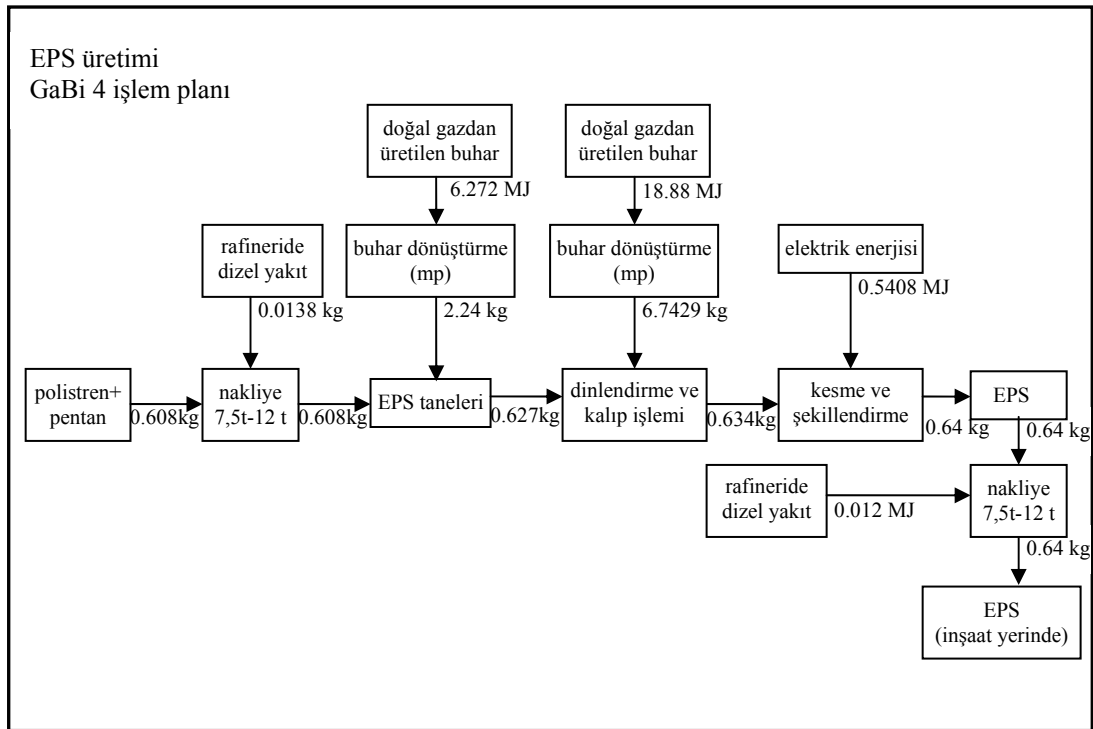
YDD hesaplamaları için taş yünü etkinlikleri iki ana bölümde; briket ve bağlayıcılar için hammadde edinimi ve son ürünün üretimi olarak ele alınabilir. Taş yünü üretimi için gerekli olan briket ve bağlayıcı hammadde edinimindeki veri sonucu ile taş yününün üretim sürecine ait veri tablosu 1 kg taş yünü ve işlevsel birim için (Bkz. Çizelge 3.2) Çizelge 3.4'te ifade edilmektedir.

Çizelge 3.4. Taş yünü için veri tablosu [Schmidt ve ark., 2004]

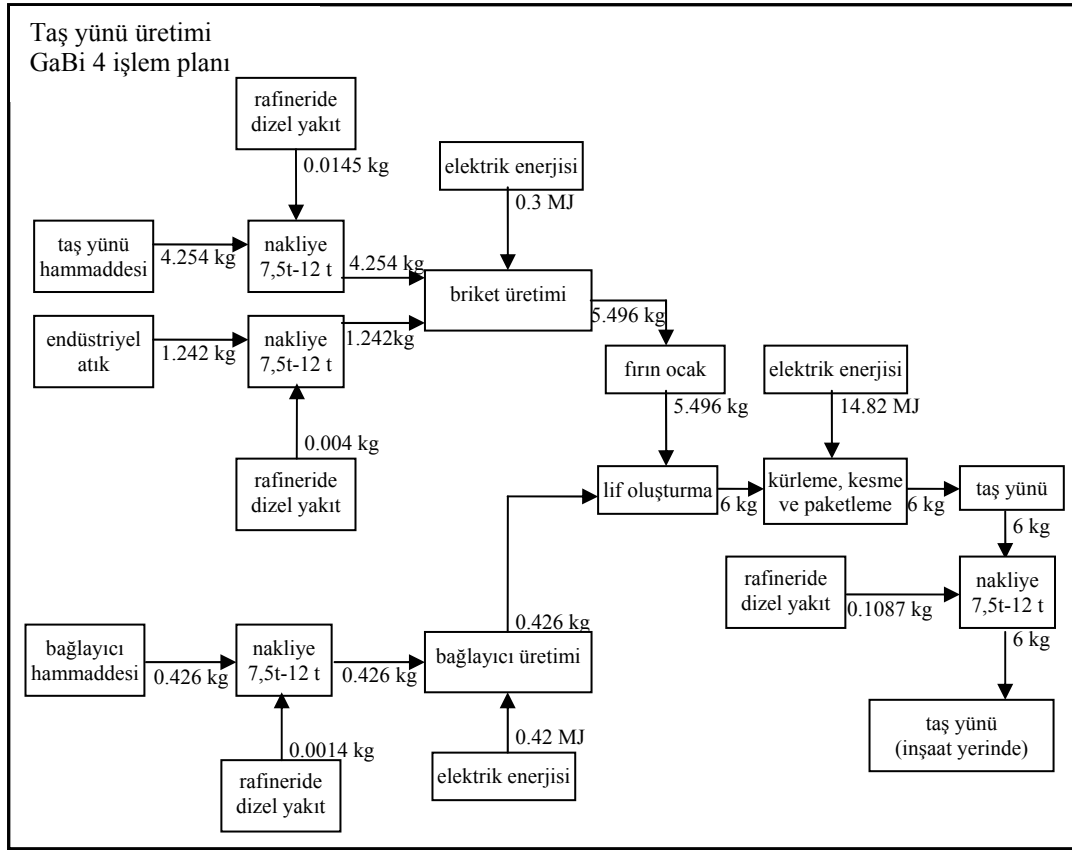
Veri sonuçları		Birim	Briket	Bağlayıcı	Toplam 1 kg taş yünü için sonuç	Toplam 6 kg taş yünü için sonuç
Enerji	Fosil yakıt (1)	MJ	0.56	2.50	14.03	84.18
	Yenilenebilir yakıt (2)	MJ	0.00	0.09	0.91	5.46
	Elektrik (3)	MJ	0.05	0.07	2.59	15.54
Toplam yakıt tüketimi (1+2+3)		MJ	0.61	2.66	17.52	105.12
Kaynak tüketimi	Su	g	166	0	3300	19800
	Biyokütle (ahşap içeren)	g	0	6	35	210
	Mineraller	g	709	2	777	4662
	Atık mineraller	g	207	0	226	1356
	Sınırlı mineraller	g	0.0002	0.0000	0.0040	0.024
	Doğal gaz	g	1	40	111	666
	Yağ	g	8	18	65	390
	Kömür	g	23	1	476	2856
	Amonyak	g	0	4	4	24
Havaya salımlar	CO <sub>2</sub> (fosil)	g	62	49	1200	7200
	CO	g	0.07	0,01	88,98	533.88
	SO <sub>x</sub>	g	0.34	0.16	5.13	30.78
	NO <sub>x</sub>	g	0.28	0.18	2.09	12.54
	N <sub>2</sub> O	g	0.00	0.00	0.02	0.12
	Methan	g	0.21	0.01	0.88	5.28
	HCl	g	0.02	0.00	0.05	0.30
	HF	g	0.00	0.00	0.01	0.06
	H <sub>2</sub> S	g	0.00	0.00	0.02	0.12
	Amonyak	g	0.00	0.01	2.00	12
	Hidrokarbonlar (CH <sub>4</sub> hariç)	g	0.00	0.03	0.18	1.08
	VOC	g	0.08	0.10	0.59	3.54
	Partiküller	g	0.04	0.02	1.01	6.06
Atık suya salımlar	Katı maddeler	g	0.00	0.00	0.02	0.12
	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD)	g	0.00	0.00	0.00	0.00
	Kimyasal oksijen ihtiyacı (COD)	g	0.00	0.02	0.04	0.24
	Azot maddesi (N)	g	0.00	0.00	0.01	0.06
	Fosfatlar (F)	g	0.00	0.00	0.00	0.00
Toplam katı atık		g	8	1	46	276

EPS ve taş yünü için elde edilen bu veriler GaBi 4 yazılım programı ile değerlendirilmektedir. GaBi 4 yazılım programı akışlar (flows), işlemler (processes), planlar (plans), projeler (projects) ve denklıklardan (balances) oluşmaktadır. GaBi 4, yaşam döngü denklıkları (life cycle balances) oluşturmak için bir araçtır. Yaşam döngü denklıkları malzemenin üretilmesinden doğan girdi ve çıktı listesini içermektedir. Denklikteki girdi ve çıktılar GaBi 4'te akış (flows) olarak tanımlanmaktadır. Enerji ve hammaddeler girdileri, salımlar ve atıklar çıktıları göstermektedir. Bu akışlar birleşerek bireysel işlemleri (processes), yaşam döngüsünün farklı evrelerindeki bu işlemlerde birleşerek planları ve sonuç olarak da projenin kendisini oluşturmaktadır.

Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te belirtilen EPS ve taş yününün işlevsel birimlerinin veri sonuçlarına göre GaBi 4 yazılım programında hazırlanan üretim şemaları (hammadde edinimi ve nakliyeler dahil) Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'te yer almaktadır. Bu veriler bir sonraki safha olan yaşam döngü etki değerlendirmesi için kullanılacaktır.



Şekil 3.6. EPS'nin üretim işlem planı



Şekil 3.7. Taş yününün üretim işlem planı

Şekil 3.6 ve şekil 3.7’te her bir dikdörtgen içinde yer alan ifadeler bir işlemi ifade etmektedir. Bu işlemler girdi ve çıktı listesinden oluşmaktadır. Bu işlemler birleşerek EPS ve taş yünü için üretim planlarını oluşturmaktadır.

EPS ve taş yünü için GaBi 4’te hazırlanan üretim planlarının özgün hali EK-2’de sunulmaktadır.

### 3.2.3. EPS ve taş yünü için yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve yaşam döngüsü yorumu

Yaşam döngü veri çözümlemesinde belirtilen veriler, GaBi 4 yazılım programında yer alan CML2001 yöntemi kullanılarak yaşam döngü etki değerlendirmesinin elemanlarından “*tanımlama*”, “*normalleştirme*” ve “*ağırlıklandırma*” ile YDD’nin bu aşamasında değerlendirilmektedir. CML2001 yöntemi yaşam döngüsü etki

değerlendirmesi için kullanılan yöntemlerden biridir. Bunun dışında başka yöntemlerde kullanılmaktadır. Örneğin Eco-indicator 99, EDIP97 vb.

Çalışmada EPS ve taş yününün kaynak kullanımı ve salımlarına göre etki sınıflarından (Bkz. Bölüm 2.7.3); asitleşme, besin birikimi, küresel ısınma, fotokimyasal oksit oluşumu, insan zehirlenme potansiyeli ve ayrıca toplam enerji tüketimi ve atık oluşumu seçilerek çevresel etkileri incelenmektedir. Her iki malzemenin işlevsel birimi için analiz edilen çevresel etki sınıflarına ait programdan çıkan niceliksel sonuçlar Çizelge 3.5'te özetlenmektedir.

Çizelge 3.5. Seçilmiş etki sınıfları ve EPS ve taş yününün işlevsel birimleri için etki sınıf miktarları

Etki sınıfı	Birim	Toplam 0,64 kg EPS için sonuç	Toplam 6 kg taş yünü için sonuç
Asitleşme	kg SO <sub>2</sub> - denkliği	0.024	0.070
Besin birikimi	kg NO <sub>x</sub>	0.002	0.007
Küresel ısınma	kg CO <sub>2</sub> - denkliği	4.38	101.94
Fotokimyasal oksit oluşumu	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> – denkliği	0.003	0.027
İnsan zehirlenme potansiyeli	kg DCB- denkliği (DCB-Dichlorobenzene)	0.037	0.290
Toplam enerji tüketimi	MJ	71.86	198.46
Atık oluşumu	kg	0.78	16.74

Bölüm 2.7.3'te açıklanan yaşam döngü etki değerlendirmesinin elemanlarından biri olan *tanımlama* için (Bkz. Bölüm 2.7.3) bu aşamada GaBi 4 programı her bir etki sınıfına giren salımları bir denklik kullanarak hesaplamakta ve otomatik olarak salımları ilişkili etki sınıflarına ayırmaktadır. Örnek olarak asitleşme potansiyeli için salım denklik faktörleri GaBi 4'te çevresel miktarlar kısmı içinde belirtilmiş olup, Şekil 3.8'deki tabloda örnek olarak sunulmaktadır. Denklik faktörleri, malzemenin etkinliğini referans bir malzemeye göre ölçülmesini ifade etmektedir. Örneğin sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) asitleşmenin referans malzemesidir. Tabloda yer alan diğer malzemeler denklik faktörleri ile çarpılarak SO<sub>2</sub> cinsinden hesaplanmakta ve asitleşme potansiyeli bulunmaktadır.

**Sınıflama:** salımlar çeşitli etkileri nedeniyle sınıflandırılmıştır.

**Tanımlama:** salımların potansiyelini tanımlayan faktörler

Flow	Unit	1 [Flow]	Standard
Hydrogen sulphide [Inorganic emissions to air]	kg	1,88	0 %
Hydrogen sulphide [Inorganic emissions to sea water]	kg	1,88	0 %
Hydrogen sulphide [Fresh water]	kg	1,88	0 %
Hydrogen sulphide [Inorganic emissions to fresh water]	kg	1,88	0 %
Nitric acid [Inorganic emissions to fresh water]	kg	0,51	0 %
Nitric acid [Inorganic emissions to industrial soil]	kg	0,51	0 %
Nitric acid [Inorganic emissions to air]	kg	0,51	0 %
Nitric acid [Inorganic emissions to agricultural soil]	kg	0,51	0 %
Nitric acid [Inorganic emissions to sea water]	kg	0,51	0 %
Nitrogen dioxide [Inorganic emissions to air]	kg	0,7	0 %
Nitrogen monoxide [Inorganic emissions to air]	kg	1,07	0 %
Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	kg	0,7	0 %
Phosphoric acid [Inorganic emissions to sea water]	kg	0,98	0 %
Phosphoric acid [Inorganic emissions to fresh water]	kg	0,98	0 %
Phosphoric acid [Inorganic emissions to air]	kg	0,98	0 %
Phosphoric acid [Inorganic emissions to industrial soil]	kg	0,98	0 %
Phosphoric acid [Inorganic emissions to agricultural soil]	kg	0,98	0 %
Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	kg	1	0 %
Sulphur trioxid [Inorganic emissions to air]	kg	0,8	0 %
Sulphuric acid [Inorganic emissions to fresh water]	kg	0,65	0 %
Sulphuric acid [Inorganic emissions to sea water]	kg	0,65	0 %
Sulphuric acid [Inorganic emissions to air]	kg	0,65	0 %
Sulphuric acid [Inorganic emissions to industrial soil]	kg	0,65	0 %

Şekil 3.8. Asitleşme potansiyeli için denklik faktörleri

GaBi 4'te Asitleşme Potansiyeli (AP) Eş. 3.2'de belirtildiği gibi hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte AP<sub>i</sub>, denklik faktörlerini ifade etmektedir.

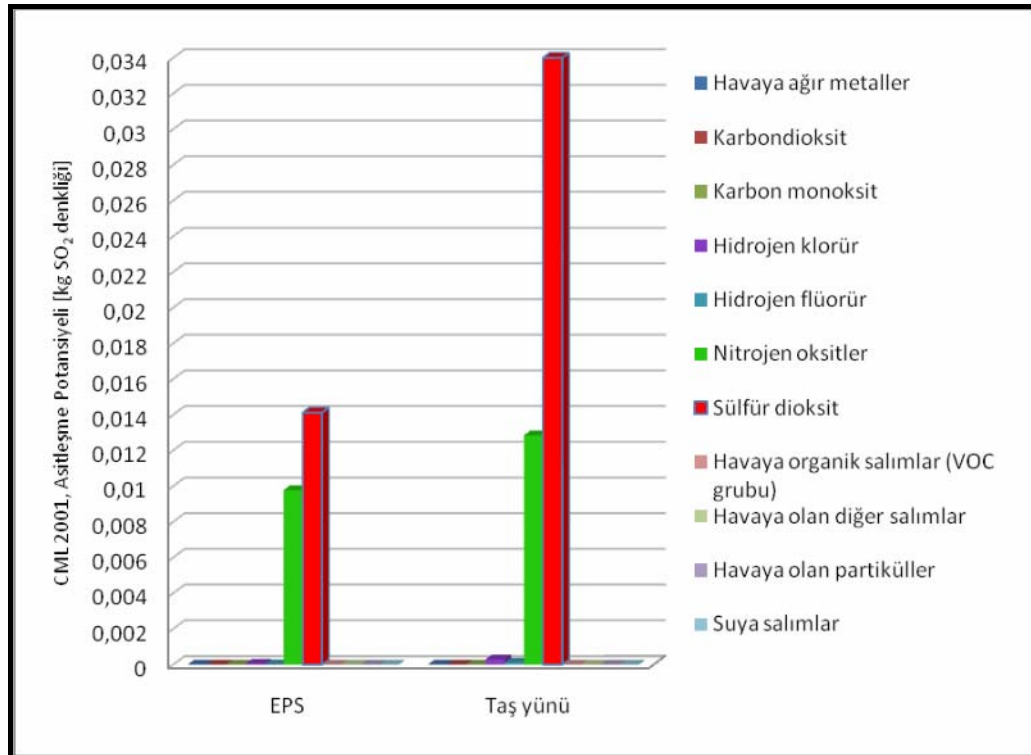
$$\sum AP = \sum AP_i * \text{Salım [kg]} \quad (3.2)$$

Bu eşitliğe göre salımı 0.014 kg NO<sub>x</sub>, 4.59E-005 kg HCl, 1.54E-006 kg HF ve 0.014 kg SO<sub>2</sub> için örnek bir hesaplama Asitleşme Potansiyeli (AP) için Çizelge 3.6'da yapılmaktadır.

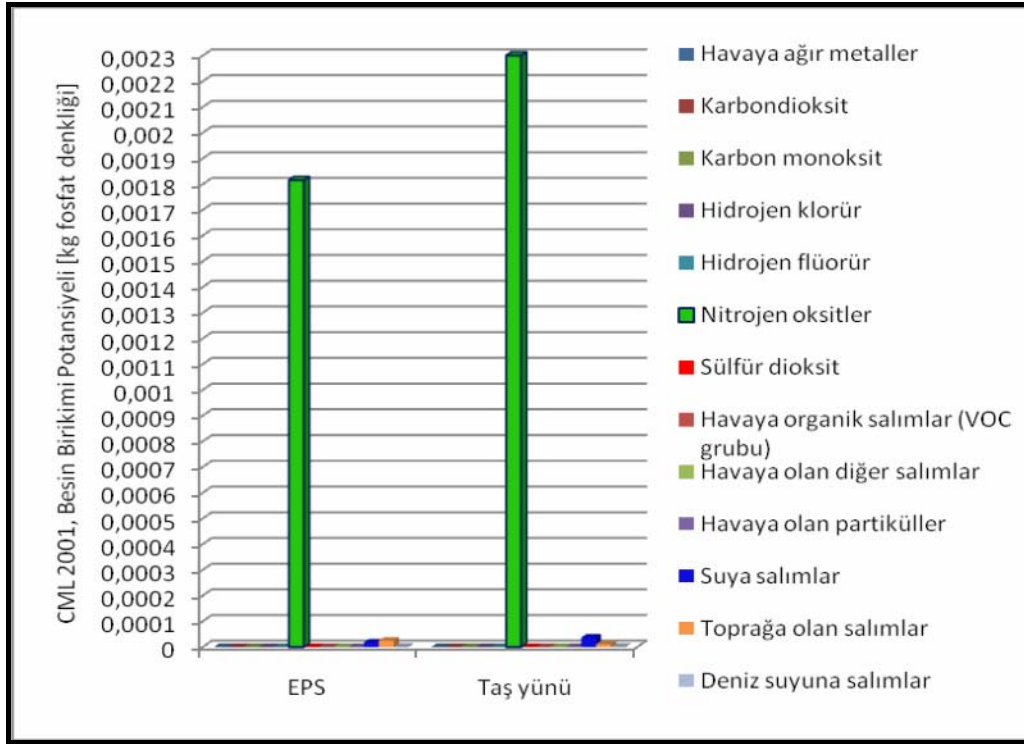
Çizelge 3.6. Asitleşme potansiyeli hesabı

	Veri Değeri	AP Faktörü	Etki Potansiyeli
NOx [kg]	0.014	x 0.7	= 0.010
HCl [kg]	4.59E-005	0.88	4.05E-005
HF [kg]	1.54E-006	1.6	2.47E-006
SO <sub>2</sub> [kg]	0.014	1	0.014
...	...	...	...
		Toplam	0.024 kg SO <sub>2</sub> denkliği

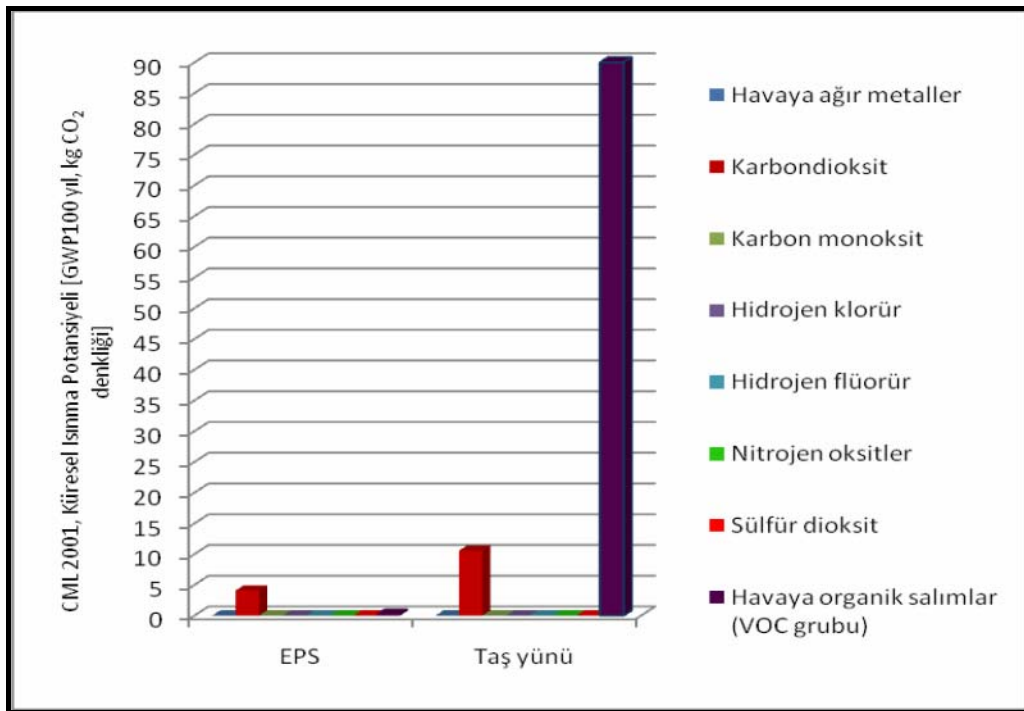
Eş. 3.2'de ve Çizelge 3.6'da asitleşme potansiyelinin hesaplamasına ait bir örnekleme yapılmaktadır. Diğer çevresel etki sınıflarının miktarının hesaplanmasında da aynı yöntem kullanılmaktadır. Buna göre hesaplanan, Çizelge 3.5'teki EPS ve taş yünü için çevresel etki sınıflarına neden olan salımlar ve bunların miktarlarına ait sonuçlar Şekil 3.9 ile Şekil 3.13 arasında diyagramlar halinde gösterilmektedir.



Şekil 3.9. EPS ve taş yününün asitleşme potansiyel etkisi

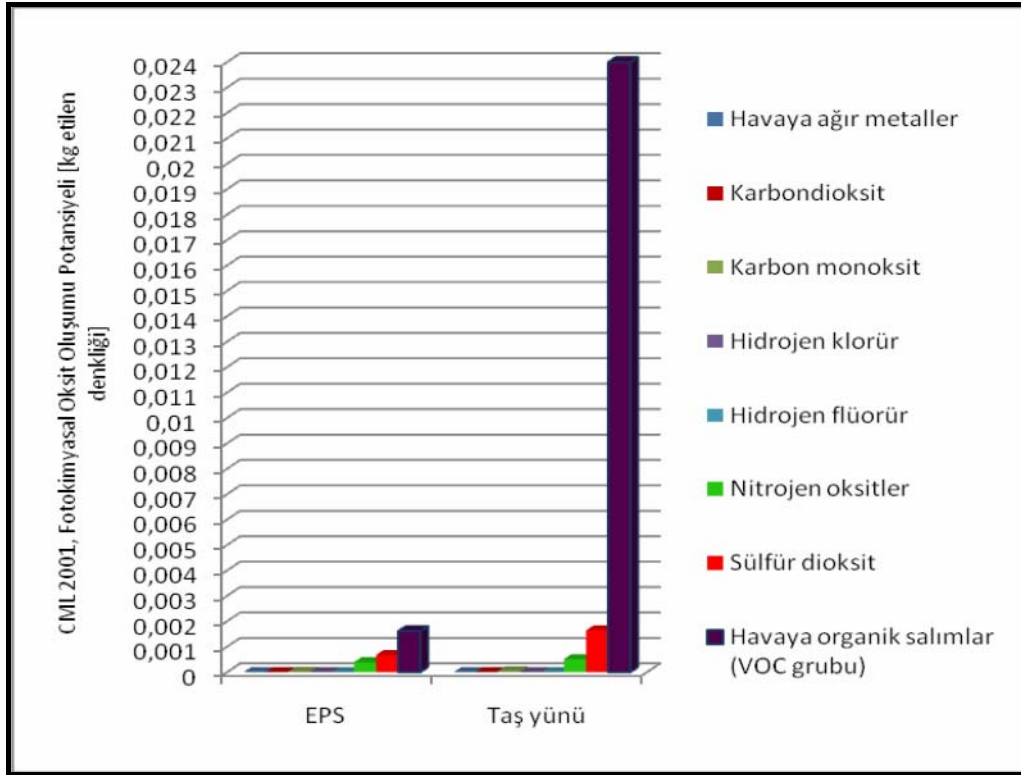


Şekil 3.10. EPS ve taş yününün besin birikimi potansiyel etkisi

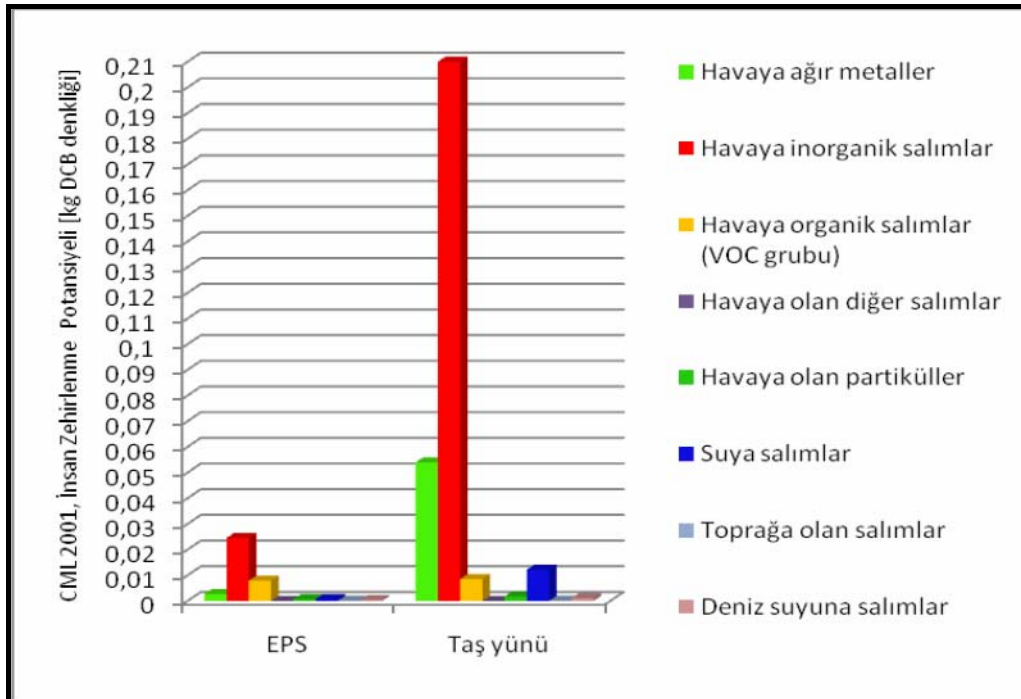


Şekil 3.11. EPS ve taş yününün küresel ısınma potansiyel etkisi





Şekil 3.12. EPS ve taş yününün fotokimyasal oksit oluşumu potansiyel etkisi

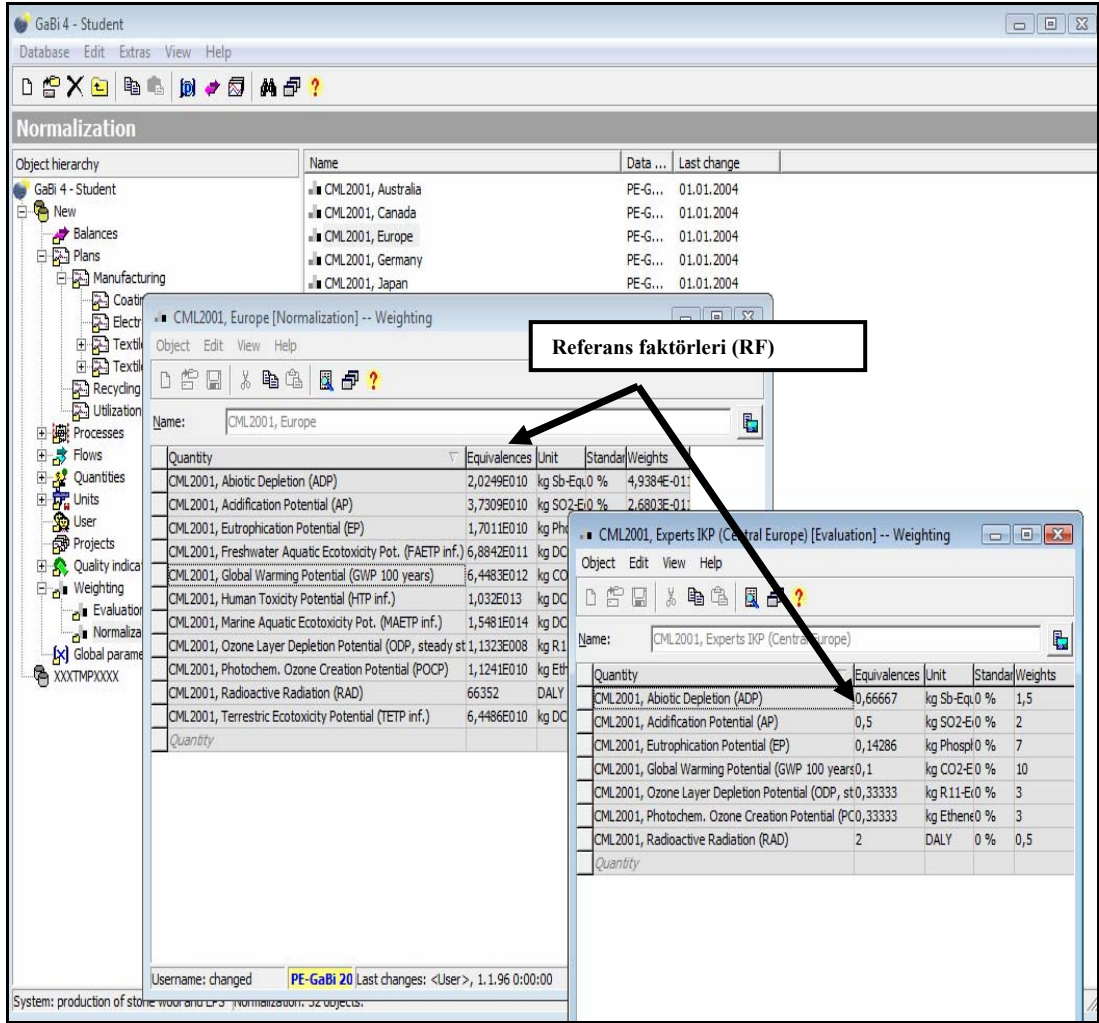


Şekil 3.13. EPS ve taş yününün insan zehirlenme potansiyel etkisi

Yukarıdaki diyagramlar incelendiğinde Şekil 3.9'da yer alan diyagramda asitleşme potansiyel etkisine neden olan ana unsur üretim aşamasında EPS için NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> salımları, taş yünü için ise NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> salımlarına ek olarak HCl dir. EPS için HCl ve HF salımlarında asitleşmeye neden olmakla birlikte 0.014 kg NO<sub>x</sub> ve 0.014 kg SO<sub>2</sub> salımlarına oranla bunlar ihmal edilebilecek seviyededir. Taş yününde ise bu salımlar 0.018 kg NO<sub>x</sub> ve 0.034 kg SO<sub>2</sub> değerindedir. Şekil 3.10'daki besin birikimi potansiyel etkisine büyük oranla etki eden salımlar EPS için 0.014 kg NO<sub>x</sub> salımı, taş yünü için ise 0.018 kg NO<sub>x</sub> ve 0.012 kg amonyak salımlarıdır. Şekil 3.11'deki küresel ısınma potansiyel etkisine EPS'de ağırlıklı olarak buhar elde etmek için doğal gazın yanması ve nakliye sonucu oluşan 4.06 kg CO<sub>2</sub> salımı, taş yünü için ise üretim safhasındaki işlemler ve nakliye işlemi sonucu oluşan 10.547 kg CO<sub>2</sub> salımı neden olmaktadır. Fotokimyasal oksit oluşumu potansiyel etkisine (Şekil 3.12) her iki yalıtım malzemesi için de büyük oranda havaya bırakılan organik salımlar (VOC grubu) neden olmaktadır. Bu EPS için 0.013 kg hidrokarbon, taş yünü için ise 3.967 kg metan salımıdır. İnsan zehirlenme potansiyel etkisine (Şekil 3.13) ağırlıklı olarak havaya bırakılan organik salımlar (VOC grubu), inorganik salımlar ve ağır metaller neden olmakta olup, EPS ve taş yünü için HF, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> salımları büyük oranda etkilemektedir.

Tanımlama kısmında her iki yalıtım malzemesine ait çeşitli etki sınıfları analiz edilmektedir. Etki sınıfları arasındaki karşılaştırmanın yapılabilmesi için ise değerlerin ortak bir referans ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. *Normalleştirme* Bölüm 2.7.3'de ifade edildiği üzere bu amaca hizmet etmektedir. Normalleştirme için referans bir bölge veya ülke için belirli bir zaman aralığında üretilen ölçüt miktarlarını tanımlayan referans faktörleri (RF) kullanılmaktadır. *Ağırlıklandırma* ise, çevresel problemler için tanımlanan öznel bir faktöre göre değerlerin çarpılarak hesaplanmanın yapılmasıdır (Bkz. Bölüm 2.7.3).

Şekil 3.14'te, CML2001 metoduna göre hesaplamalarda kullanılan normalleştirme ve ağırlıklandırma referans faktörleri yer almaktadır. Bu faktörler neticesinde EPS ve taş yünü için normalleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış etki potansiyel değerlerinin sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 3.14. GaBi 4 programında CML2001 metoduna göre normalleştirme ve ağırlıklandırma referans faktörleri

Normalleştirme değeri hesaplanırken Eş. 3.3 kullanılmaktadır. Eşitlikte RF, referans faktörünü ifade etmektedir. Örneğin asitleşme normalleştirilmiş etki potansiyel değeri, toplam asitleşme potansiyel etkisi miktarının (Bkz. Çizelge 3.5) Şekil 3.14'te yer alan asitleşme referans faktörüne bölünmesiyle bulunmaktadır.

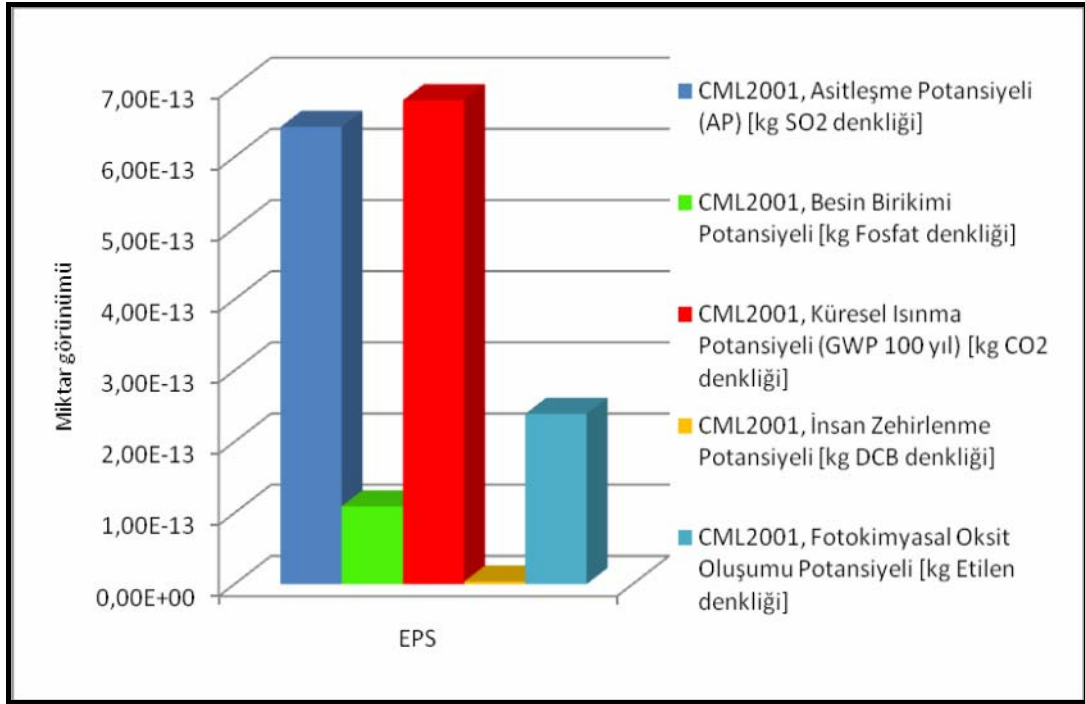
$$\text{değer} = \frac{\sum AP}{RF_{AP}} \quad (3.3)$$

Bu eşitliğe göre hesaplanan EPS ve taş yününün normalleştirilmiş etki potansiyel değerleri asitleşme, besin birikimi, küresel ısınma, fotokimyasal oksit oluşumu ve insan zehirlenme potansiyeli için Çizelge 3.7’de özet halinde verilmektedir. Bu etki sınıflarının normalleştirilmiş etki potansiyel değerlerinin diyagram halinde sunumu ise EPS için 3.15’te, taş yünü için ise Şekil 3.16’da yer almaktadır.

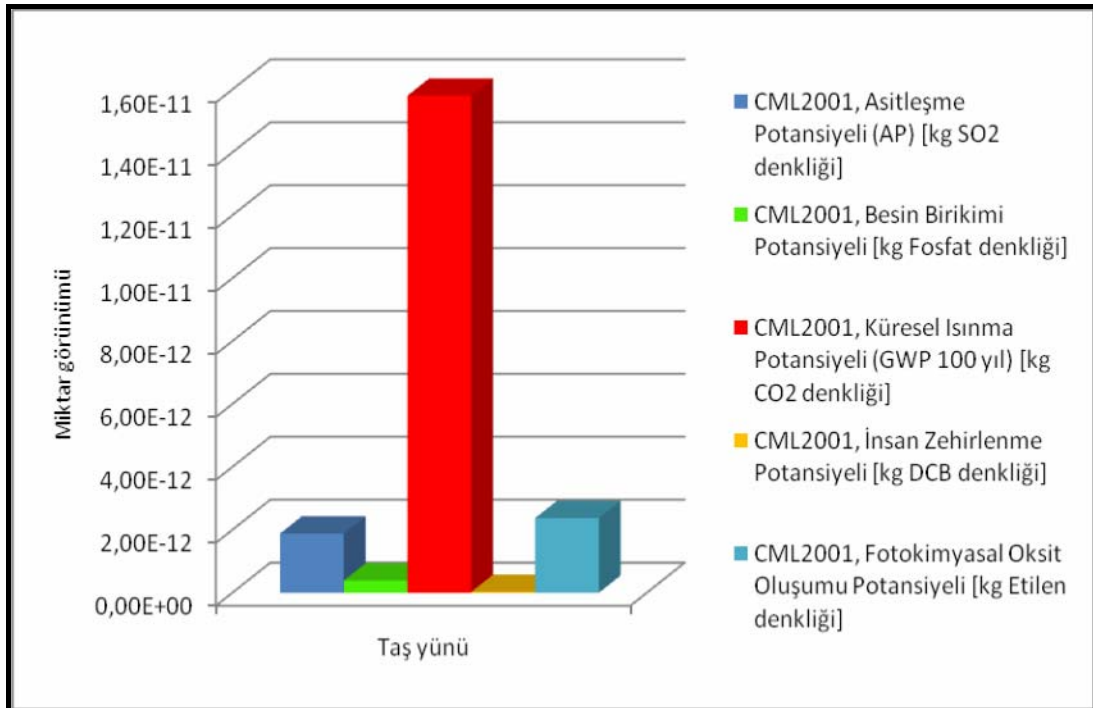
Çizelge 3.7. EPS ve taş yünü için normalleştirilmiş etki potansiyelleri

Üretim İşlemi Etki sınıfı	EPS	Taş yünü
Asitleşme	6.42E-013	1.88E-012
Besin birikimi	1.09E-013	3.90E-013
Küresel ısınma	6.79E-013	1.58E-011
Fotokimyasal oksit oluşumu	2.39E-013	2.37E-012
İnsan zehirlenme potansiyeli	3.54E-015	2.84E-014

Çizelge 3.7’deki sonuçlara göre taş yününün normalleştirilmiş potansiyel etkisi tüm etki sınıflarında EPS’ye göre daha fazla çıkmaktadır. Ayrıca her iki yalıtım malzemesi içinde küresel ısınma normalleştirilmiş potansiyel etkisi diğer etki sınıflarına kıyasla en yüksek değere sahip olmaktadır. Küresel ısınma normalleştirilmiş etki potansiyelini EPS’de asitleşme, taş yünüde ise fotokimyasal oksit oluşumu normalleştirilmiş etki potansiyeli takip etmektedir. İnsan zehirlenme normalleştirilmiş etki potansiyeli diğer etki sınıflarına göre en düşük değere sahiptir.



Şekil 3.15. EPS için normalleştirilmiş etki potansiyelleri



Şekil 3.16. Taş yünü için normalleştirilmiş etki potansiyelleri

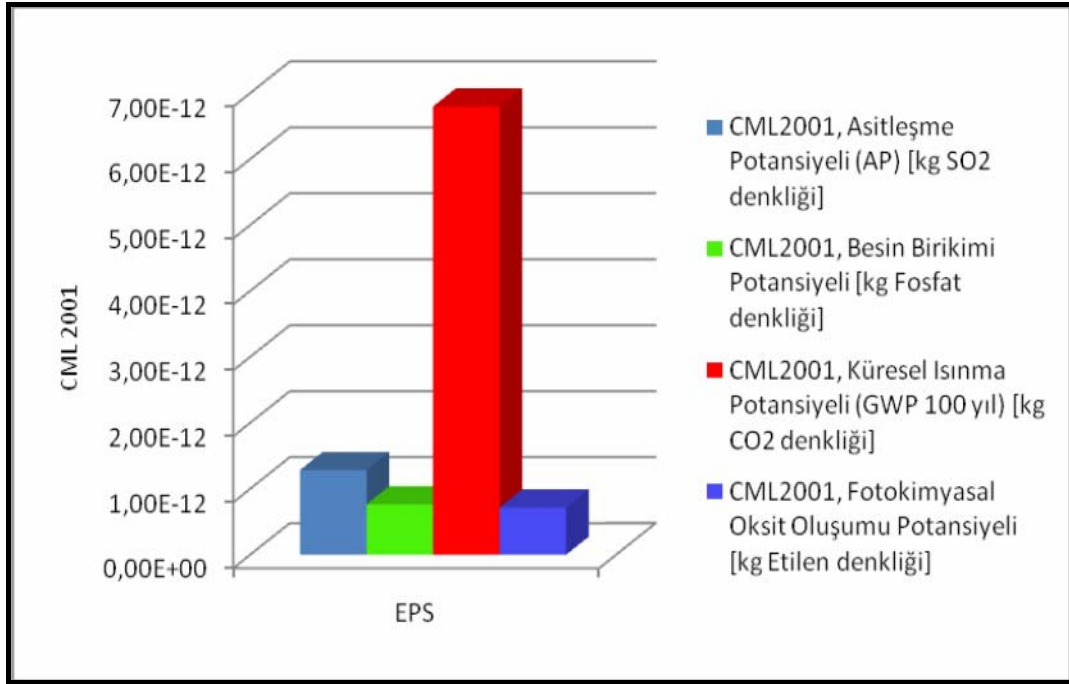
Çevresel etki değerlendirmede iki etki sınıfının normalleştirilmiş etki potansiyellerinin eşit değerlere sahip olması aynı ağırlığa sahip olduğunu göstermemektedir. Bu nedenle GaBi 4'te ağırlıklandırma, potansiyel etkilerin önemini belirlemek için uygulanmaktadır. Bunun için hesap yönteminde Şekil 3.14'te belirtilen ağırlıklandırma faktörleri kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 3.14).

EPS ve taş yünü için ağırlıklandırılmış etki potansiyelleri değerleri çizelge olarak Çizelge 3.8'de ifade edilmektedir. Ağırlıklandırılmış etki potansiyelleri sonuçlarının diyagram olarak gösterimi ise EPS için Şekil 3.17'de, taş yünü için ise Şekil 3.18'de yer almaktadır.

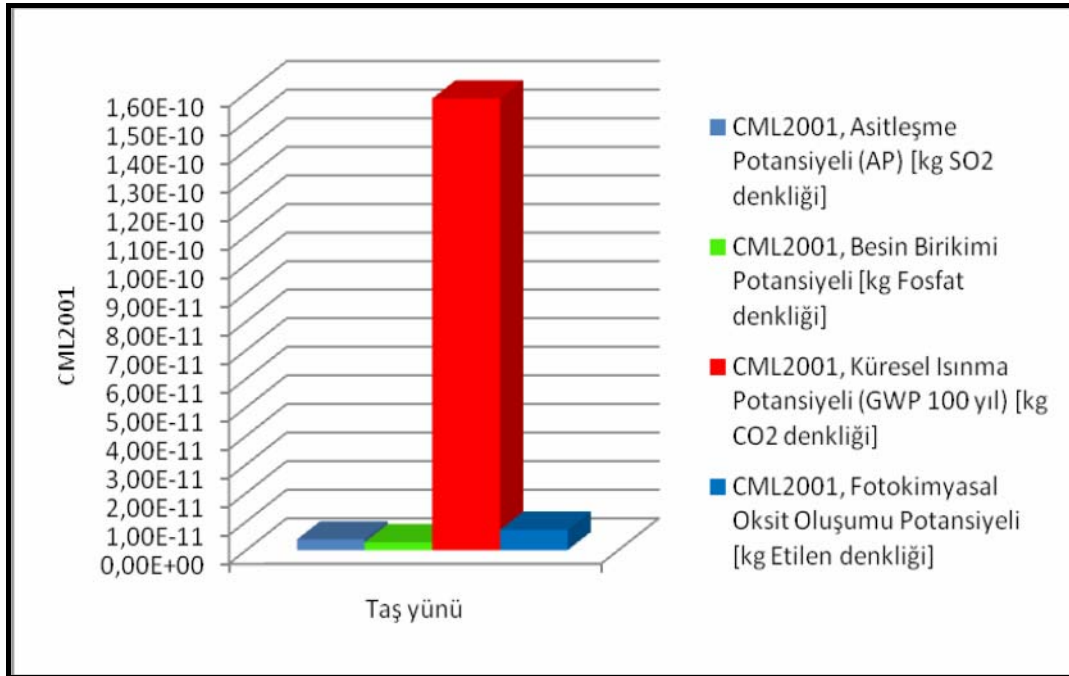
Çizelge 3.8. EPS ve taş yünü için ağırlıklandırılmış etki potansiyelleri

Üretim Evresi Etki sınıfı	EPS	Taş yünü
Asitleşme	1.28E-012	3.77E-012
Besin birikimi	7.66E-013	2.73E-012
Küresel ısınma	6.79E-012	1.58E-010
Fotokimyasal oksit oluşumu	7.18E-013	7.12E-012

Yukarıda belirtilen etki sınıflarının ağırlıklandırma hesabı sonuçlarına göre küresel ısınmanın en yüksek ağırlığı içerdiği ve en önemli potansiyele sahip olduğu, ikinci en negatif etkinin ise EPS için asitleşme potansiyeli, taş yünü için ise fotokimyasal oksit oluşumu potansiyel etkisi olduğu görülmektedir (Çizelge 3.8). Bu nedenle küresel ısınmaya neden olan salımların düşürülmesi üzerine çalışmaların yoğunlaşması gerekmektedir.



Şekil 3.17. EPS için ağırlıklandırılmış etki potansiyelleri



Şekil 3.18. Taş yünü için ağırlıklandırılmış etki potansiyelleri

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sağlıklı bir çevrede yaşamak için bina üretiminde çevreye duyarlı yaklaşımların uygulanması ve binaların neden olduğu çevresel etkilerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde YDD yöntemi çevresel etkilerin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. YDD ile tüm binanın çevresel etkileri değerlendirilebildiği gibi herhangi bir yapı malzemesinin de çevresel etkisi değerlendirilebilmektedir.

Bu çalışmada YDD yöntemi, enerji korunumunda önemli bir yere sahip olan ısı yalıtım malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Çalışmada örnek olarak toplu konutlarda kullanılan EPS ısı yalıtım malzemesi ile buna alternatif bir ısı yalıtım malzemesi olan taş yününün olası çevresel etkileri tanımlanan işlevsel birime göre YDD yöntemi esas alınarak GaBi 4 yazılım programı içinde yer alan CML2001 yöntemi ile nicelendirilmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır.

EPS ve taş yününün çevresel etkileri çalışma içinde “beşikten kapıya (cradle to gate)”; hammadde edinimi, üretimdeki işlemler, malzemelerin paketlenmesi ve inşaat yerine nakliyesine kadar olan süreç içerisinde ele alınmıştır. Bu süreçte her iki ısı yalıtım malzemesi çevresel etki sınıflarından; asitleşme, besin birikimi, küresel ısınma, fotokimyasal oksit oluşumu, insan zehirlenme potansiyeli, toplam enerji tüketimi ve atık oluşumu açısından değerlendirilmiştir.

Malzemelere ait verilerin GaBi 4 yazılım programına girilmesinden sonra elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde çevresel etkilerin en çok üretim işlemlerinden kaynaklandığı gözlemlenmiş, hammadde edinimi ve nakliyeden doğan çevresel etkilerin buna göre daha az olduğu görülmüştür. Örnek çalışmada kullanılan verilerin üretim işlemlerinin tümünü kapsamaması nedeniyle üretim işlemlerinin aşamaları için detaylı bir inceleme oluşturulması mümkün olmamıştır. Enerji kullanımı ve atık oluşumu açısından iki ısı yalıtım malzemesi incelendiğinde üretim safhasında taş yününün enerji kullanımı ve atık oluşumunun daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seçilen çevresel etki sınıfına göre değerlendirme yapıldığında taş yünü tüm



etki sınıflarında daha yüksek değerlere sahip olmuştur. Bu çevresel etki sınıfları içerisinde küresel ısınma en önemli çevresel etkiye neden olmuş bunu sırasıyla insan zehirlenme potansiyel etkisi, asitleşme, fotokimyasal oksit oluşumu ve besin birikimi takip etmiştir.

Normalleştirilmiş etki potansiyelleri incelendiğinde her iki ısı yalıtım malzemesi içinde en yüksek normalleştirilmiş etki potansiyelinin küresel ısınma olduğu görülmüş bunu EPS'de asitleşme normalleştirilmiş etki potansiyeli, taş yününde ise fotokimyasal oksit oluşumu izlemiştir. Ağırlıklandırılmış etki potansiyelleri değerlendirilmesinde de sonuç değişmemiş küresel ısınma en negatif etkiyi içermiştir.

EPS üretiminde etki sınıfları detaylı değerlendirildiğinde küresel ısınma potansiyel etkisi %93 oranla karbondioksit salımı sonucu oluşmuştur. Nakliyenin bu orana etkisi küçük çapta olmuştur. Asitleşme potansiyel etkisi, üretimde fosil yakıtların kullanılması sonucu sülfür dioksit ve nitrojen oksit salımlarından; besin birikimi potansiyel etkisi ağırlıklı olarak nitrojen oksit salımlarından kaynaklanmıştır. Fotokimyasal oksit oluşumu potansiyel etkisine %50 oranında VOC grubundan hidrokarbonlar neden olurken geriye kalan %50'lik kısmı sülfür dioksit ve nitrojen oksit salımları oluşturmuştur.

Taş yünü üretiminde etki sınıflarının nedenleri analiz edildiğinde küresel ısınma potansiyel etkisine neden olan ana faktör kayaları eritme işleminde kullanılan fosil yakıtlar ve enerji kullanımı sonucu ortaya çıkan karbondioksit salımı ile havaya bırakılan organik salımlardır. Bağlayıcı malzemelerin üretimde küçük miktarlarda yer alması sonucu enerji tüketiminden kaynaklanan salımlarının dışında küresel ısınmaya neden olacak önemli miktarda salımları bulunmamıştır. Asitleşme potansiyel etkisi fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan sülfür dioksit ve nitrojen oksit salımlarından kaynaklanmıştır. Besin birikimi potansiyel etkisine yaklaşık %75 oranında son üretim işlemi sırasında amonyak salımı etkili olurken geriye kalan diğer önemli kısmı nitrojen oksit salımı oluşturmuştur. Fotokimyasal

oksit oluşumu potansiyel etkisine büyük oranda üretim işlemindeki metan salımı neden olmuştur.

İnsan zehirlenme potansiyel etkisi incelendiğinde her iki ısı yalıtım malzemesinde de etkinin VOC grubu, hidrojen flüorür ve büyük oranda nitrojen oksit salımları nedeniyle ortaya çıktığı anlaşılmıştır.

Değerlendirme sonuçlarına göre enerji kullanımı, atık oluşumu ve incelenen çevresel etkilere göre EPS, taş yününe kıyasla çevreye daha az zarar vermektedir. Bu nedenle EPS'nin taş yününe göre binalarda kullanılmasının çevresel açıdan daha yararlı olduğu çalışmadan çıkan sonuçlardan biridir. Diğer bir sonuçta çevresel etkilerin en çok üretim safhasından kaynaklandığıdır.

Türkiye'de TSE Standardlarından, üretici firmalardan veya bu firmaların broşürlerinden faydalanılarak yapı malzemelerine ait bilgilere ulaşılmaktadır. Bu bilgiler daha çok malzemenin kimyasal, fiziksel, mekanik, teknik özelliklerine veya yapıda uygulanmalarına ilişkin verileri kapsamaktadır. Bilimsel temele dayanan çevresel etkilere ait veriler ise sınırlı yer almaktadır. Ancak yapı malzemelerinin geliştirilmesi, çevreye duyarlı yapı malzemelerinin üretimi için malzemelerinin çevresel etkileriyle ilgili değerlendirmeler, kontroller ve iyileştirmelerin yapılabilmesi gerekmektedir. Bu da büyük ölçüde yapı malzemeleri ile ilgili çevresel verilerin mevcut olmasına bağlıdır. Ancak bu çevresel verilerin toplanmasında sıkıntı ve güçlükler yaşanmaktadır. Mimarların ve malzeme uygulayıcılarının malzemenin seçiminde çevresel özelliklerini de dikkate alabilmesi için malzemelere ait bilimsel verilerin oluşturulması ve bu verilerin beyan edilmesi gerekmektedir. Türkiye'de bu eksikliği gidermek için uluslararası veri tabanlarından yararlanılarak veri tabanı oluşturulması çalışmaları yapılmasına ihtiyaç vardır.

Çalışmada yapı malzemelerinden kaynaklanan çevresel etkilerin bilinmesinin malzemenin seçiminde ölçüt oluşturabileceği düşüncesiyle çevreye duyarlı, sürdürülebilir binaların üretilmesi için günümüzde önemli bir yere sahip olan ısı yalıtım malzemelerinin teknik ve diğer özelliklerinin yanı sıra çevreselliğinin de göz

önünde bulundurularak kullanılmasının katkı sağlayacağı vurgulanmaktadır. Çevresel etkilerin değerlendirilmesinin güvenilir olması için ise bilimsel metotlara dayanması gerektiği ve YDD yönteminin bunu sağlamaya yönelik olarak uygulandığı ifade edilmektedir.

YDD ile sadece bir malzemenin çevresel etkilerinin değerlendirilebildiği gibi iki veya daha fazla malzemenin çevresel etkilerinin karşılaştırılabilmesi de yapılabilmektedir. Örnek çalışmada bu ortaya konarken çalışmanın sonuçları, malzemelerin çevresel performanslarının geliştirilebilmesi veya iyileştirilebilmesi, malzemelerin tasarımının yenilenmesi konusunda kamuda ve özel sektörde stratejik planlama yapılması, öncelik belirleme veya da malzemelerin pazarlanmasında etkili olan çevresel etki beyanlarının ve çevre etiketlerinin geliştirilmesi için katkı sağlayabilir.

Türkiye’de sınırlı sayıda YDD uygulamasının var olması inşaat sektöründe rol alan üretici firmaların, mimarların, mühendislerin, yüklenicilerin, kullanıcıların ve diğer rol alan aktörlerin YDD konusunda yeterince bilgiye sahip olmamasına neden olmaktadır. Bu konudaki eksikliğin giderilmesi ve YDD uygulamasının anlaşılabilirliğinin sağlanması için çalışma ileride yapılacak diğer YDD çalışmalarına bir örnek oluşturmaktadır. Bu tip çalışmaların artması ise çevreye yönelik uygulamaların gelişmesini yardımcı olurken çevrenin korunmasını dolayısıyla ülkenin refahını ve toplumda sağlıklı bireylerin yaşamasını sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

Adalberth, K., Almgren, A., Petersen, E.H., “Life cycle assessment of four multi family buildings”, *The International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, 2: 1-21 (2001).

Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., Mistretta, M., “Building energy performance: a LCA case study of kenaf-fibres insulation board” , *Energy and Building*, 40 (1): 1-10 (2008).

Arena, A.P., Rosa, C., “Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza – Argentina”, *Building and Environment*, 38: 359-68 (2003).

Asif, M., Muneer, T., Kelley, R., “Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland”, *Building and Environment*, 42: 1391-1394 (2007).

Azapagic, A., “Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimization”, *Chemical Engineering Journal* , 73: 1-21 (1999).

Binalarda Isı yalıtımı Yönetmeliği, *24043 sayılı Resmi Gazete* (08.05.2000).

Blanchard, S., Reppe, P., “Life cycle analysis of a residential home in Michigan”, *Master Project 1998-5, School of Natural Re-sources and Environment, University of Michigan*, US, 2-11 (1998).

Blengini, G.A., “Life cycle of buildings, demolition and recycling potential:A case study in Turin, Italy”, *Building and Environment*, 44: 319-330 (2009).

Bozkurt, E., “Life cycle assesment (LCA) based home rating model for İzmir (HRM-İZMİR)”, Ph.D. Thesis, *İzmir Institute of Technology, Graduate School of Engineering and Sciences*, İzmir, 1-2, 39-71 (2007).

California Integrated Waste Management Board (CIWMB), “Designing with vision: a technical manual for materials choices in sustainable construction”, *California Integrated Waste Management Board*, 1-2 (2000).

CEPMC, “Guidance for the provision of environmental information on construction products”, *Council for European Producers of Materials for Construction, Brussels*, (2000).

Citherlet, S., Di Guglielmo, F., Gay, J.B., “Window and advanced glazing systems life cycle assessment”, *Energy and Buildings*, 32 (3): 225-234 (2000).

Chau, C.K., Yik, F.W.H., Hui, W.K., Liu, H.C., Yu, H.K., “Environmental impacts of building materials and building services components for commercial buildings in Hong Kong”, *Journal of Cleaner Production*, 15: 1840-1851 (2007).

Curran, M.A., “Life cycle assesment: principles and practice”, *EPA/600/R-06/060 U. S. Environmental Protection Agency*, Ohio, 1-54 (2006).

Çakmaklı, A.B., “Life cycle assessment of building materials in hotel refurbishment projects: a case study in Ankara”, Ph.D. Thesis, *Middle East Technical University, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences*, Ankara, 6-36 (2007).

Çelebi, G., “Environmental discourse and conceptual framework for sustainable architecture”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (1): 205-216 (2003).

Çelebi, G., Gültekin, A.B., “Sürdürülebilir mimarlığın kapsamı: kavramsal bir çerçeveden bakış”, *Mimarlar Dergisi*, 2: 30-35 (2007).

Çelebi, G., Aydın, A.B., “Sürdürülebilir mimarlık yaklaşımında yapı malzemelerinin irdelenmesi”, *IV. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi*, İzmir, 457-464 (2001).

Çelebi, G., Gültekin, A.B., “Sürdürülebilir mimarlık ve yapı malzemelerinin yaşam döngüleri kapsamında irdelenmesi”, *Yapı Malzemesi Kurultayı 2003*, Yapı Endüstri Merkezi - İMSAD (İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği), İstanbul, (2003).

Ding, G.K.C., “Sustainable construction-the role of environmental assessment tools”, *Journal of Environmental Management*, 86: 451-464 (2008).

Earth Summit 2002, “Plan of implementation”, *Earth Summit 2002, Johannesburg*, 1-6 (2002).

Erlandsson, M., Borg, M., “Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services-today practice and development needs”, *Building and Environment*, 38: 919-938 (2003).

Esin, T., “A study regarding the environmental impact analysis of the building materials production process (in Turkey)”, *Building and Environment*, 42: 3860-3871 (2007).

Glavic, P., Lukman, R., “Review of sustainability terms and their definitions”, *Journal of Cleaner Production*, 15 (18): 1875-1885 (2007).

Guinee, J.B., “Handbook of life cycle assessment: operation guide to ISO Standards”, *Kluwer Academic Publishers*, USA, 10-12, 19-106 (2002).

Gültekin, A.B., “Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 7-27 (2006).

Horvath, A., “Estimation of environmental implications of construction materials and designs using life-cycle assessment techniques”, Doctoral Dissertation, **Carnegie Mellon University**, Department of Civil and Environmental Engineering, Pittsburgh, PA, 28-29 (1997).

Hunt, R., Franklin, W.E., “LCA – How it came about. personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA, **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 1 (1): 4-7 (1996).

IEA-BCS Annex 31, “LCA methods for buildings”, **International Energy Agency, Canada**, 1-11 (2001).

ISO, “Environmental management - life cycle assessment - principles and framework”, **ISO 14040**, Geneva, 1-12 (1997).

ISO, “Environmental management - life cycle assessment - goal and scope definition and inventory analysis”, **ISO 14041 :1998(E)**, Geneva, 1-16 (1998).

ISO, “Environmental management - life cycle assessment - life cycle impact assessment”, **ISO 14042 : 2000(E)**, Geneva, 1-16 (2000a).

ISO, “Environmental management - life cycle assessment - life cycle interpretation”, **ISO 14043 : 2000(E)**, Geneva, 1-18 (2000b).

ISO, “Environmental management - life cycle assessment - data documentation format”, **ISO/TS 14048 : 2002**, Geneva, 1-87 (2002).

ISO, “Environmental management - life cycle assessment - examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis”, **ISO/TR 14049 : 2003(E)**, Geneva, 1-43 (2003a).

ISO, “Environmental management - life cycle impact assessment - examples of application of ISO 14042”, **ISO/TR 14047 : 2003(E)**, Geneva, 1-87 (2003b).

ISO, “Environmental management – life cycle assessment – principles and framework” **ISO 14040**, Geneva, 1-20 (2006a).

ISO, “Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines”, **ISO 14044**, Geneva, 1-46 (2006b).

Internet : ATHENA Institute, “The Impact Estimator for buildings”, <http://www.athenasmi.org/tools/impactEstimator/> (2009).

Internet : BRE (Building Research Establishment), “BRE” <http://www.bre.co.uk/index.jsp> (2009).

İnternet : BRE (Building Research Establishment), “Ecohomes”,  
<http://www.breeam.org/page.jsp?id=21> (2009).

İnternet : BRE (Building Research Establishment), “Envest”,  
<http://www.bre.co.uk/page.jsp?id=52> (2009).

İnternet : BRE (Building Research Establishment), “Environmental Profiles”,  
<http://www.bre.co.uk/page.jsp?id=53> (2009).

İnternet : BREEAM: BRE Environmental Assessment Method, “What is BREEAM”,  
<http://www.breeam.org/page.jsp?id=66> (2009).

İnternet : Building and Fire Research Laboratory NIST, “BEES”,  
<http://www.bfrl.nist.gov/oa/software/bees/> (2009).

İnternet : Ecobilan, “TEAM<sup>TM</sup> (Tool for Environmental Analysis and Management)”,  
[http://www.ecobalance.com/uk\\_team.php](http://www.ecobalance.com/uk_team.php) (2009).

İnternet : European Commission, “Construction unit of the European Commission”,  
[http://ec.europa.eu/enterprise/construction/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/construction/index_en.htm) (2006).

İnternet : European Commission, “Identifying products with the greatest potential for environmental improvement”,  
<http://ec.europa.eu/environment/ipp/identifying.htm> (2009).

İnternet : European Environmental Agency (EEA), “Life cycle assesment”  
[http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept\\_html?term=life cycle assesment](http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=life%20cycle%20assessment)  
 (2009).

İnternet : Avrupa EPS Üreticileri Derneği (European Manufacturers of EPS-EUMEPS), “EPS the environmental truth”,  
<http://www.eumeps.org/show.php?ID=4465&psid=cf942acd19a36de675ec1ba2536d965f> (2009).

İnternet : GaBi, “GaBi 4”,  
<http://www.gabi-software.com/gabi/gabi-4/> (2009).

İnternet : İzocam, “Ekspande polistren (EPS)”,  
[http://www.izocam.com.tr/izocam/Urunler/Ekspande-Polistren-\(EPS\).aspx](http://www.izocam.com.tr/izocam/Urunler/Ekspande-Polistren-(EPS).aspx) (2009a).

İnternet : İzocam, “Taşyünü”,  
<http://www.izocam.com.tr/izocam/Urunler/Tasyunu.aspx> (2009b).

İnternet : İzoder, “Isı yalıtımı”,  
[http://izoder.org.tr/isiyalitimi/ISIYALITIMI\\_GIRIS.pdf](http://izoder.org.tr/isiyalitimi/ISIYALITIMI_GIRIS.pdf) (2009).

İnternet : SMARTwaste, “SMARTwaste”  
<http://www.smartwaste.co.uk/index.jsp> (2009).

İnternet : Özçuhadar, T., “Binalarda yaşam döngüsü değerlendirmesi”,  
<http://www.ekotasarim.org/2009/09/surdurulebilir-cevre-icin-binalarda-yasam-dongusu-yaklasimi/#more-242> (2009).

İnternet : USGBC (The U. S. Green Building Council), “LEED Rating System”,  
<http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=222> (2009).

Jensen, A.A., Hoffman, L., Moller, B., Schmit, A., Christiansen, K., Elkington, J., Dijk, F.V., “Life cycle assessment, a guide to approaches, experiences and information sources” *European Environment Agency, Denmark*, 13-14, 51-71 (1997).

Junnila, S., “The environmental impact of an office building throughout its life cycle”, Doctoral dissertation, *Helsinki University of Technology*, Espoo-Finland, 2-3, 12-16 (2004).

Kellenberger, D., Althaus, H., “Relevance of simplifications in LCA of building components”, *Building and Environment*, 44 (4): 818-825 (2009).

Kim, J.J., Rigdon, B., “Architecture module: qualities, use, and examples of sustainable building materials”, Graves J (ed.), *National Pollution Prevention Center for Higher Education*, Ann Arbor, 16-17 (1998a).

Kim, J.J., Rigdon, B., “Sustainable architecture module: introduction to sustainable design”, *National Pollution Prevention Center for Higher Education*, Ann Arbor, 10-11, 17-19 (1998b).

Klöpffer, W., “The role of SETAC in the development of LCA, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11 (1): 116-122 (2006).

Klunder, G., “The search for the most eco-efficient strategies for sustainable housing construction; Dutch lessons”, *Journal of Housing and the Built Environment*, 19: 111-126 (2004).

Kohler, N. “The relevance of Green Building Challenge: an Observer’s Perspective”, *Building Research and Information*, 27 (4/5): 309-320 (1999).

Kohler, N., Moffatt, S., “Life cycle analysis of the built environment”, *Industry and Environment*, 26 (2/3): 17-20 (2003).

Koroneos, C., Dompros, A., “Environmental assessment of brick production in Greece”, *Building and Environment*, 42: 2114-2123 (2007).



Koroneos, C., Kottas, G., “Energy consumption modeling analysis and environmental impact assessment of model house in Thessaloniki-Greece”, *Building and Environment*, 42:122-138 (2007).

Lavagna, M., “EPD use in building assessment to support design strategies”, *SETAC. 13th LCA Case Study Symposium Proceedings*, Stuttgart, 16-17 (2006)

Levin, H., “Systematic evaluation and assessment of building environmental performance (SEABEP)”, *Proceedings of Second International Conference Buildings and the Environment*, Paris, 3-10 (1997).

Menke D.M., Davis G.A., Vigon B.W., “Evaluation of life-cycle assessment tools”, *Final Report, University of Tennessee, U.S.*, 11-17 (1996).

Nebel, B., “White paper-life cycle assesment and the building and construction industry”, *Beacon Pathway Limited*, Auckland, 5-9 (2006).

Nebel, B., Zimmer, B., Wegener, G., “Life cycle assessment of wood floor coverings-a representative study for the German flooring industry”, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11 (3):172-182 (2006).

Nicoletti, G.M., Notarnicola, B., Tassielli, G., “Comparative life cycle assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles”, *Journal of Cleaner Production*, 10 (3): 283-296 (2002).

Oral, G.K., “Sağlıklı binalar için enerji verimliliği ve ısı yalıtımı”, *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İstanbul, 253-264 (2007).

Ortiz, O., Bonnet, C., Bruno, J.C., Castells, F., “Sustainability based on LCM of residential dwellings: a case study in Catalonia, Spain”, *Building and Environment*, 44 (3): 584-594 (2009).

Ortiz, O., Castells, F., Sonnemann, G., “Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA”, *Construction and Building Materials*, 23 (1): 28-39 (2009).

Paulsen, J., “Life cycle assessment for building products - the significance of the usage phase”, Doctoral Thesis, *Royal Institute of Technology*, Stockholm, 1-9 (2001).

Paulsen, J., “Life cycle assessment for building products - with special focus on maintenance and impacts from the usage phase”, (Licentiate thesis), *Royal Institute of Technology*, TRITA-BYMA, Sweden, 9-11 (1999).

Petersen, A.K., Solberg, B., “Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden”, *Forest Policy and Economics*, 7 (3): 249-59 (2005).

Peuportier, B.L.P., "Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context", *Energy and Buildings*, 33: 443-450 (2001).

Pless, P.S., "Technical and environmental assessment of thermal insulation materials from bast fiber crops", Ph.D Thesis, *University of California, Environmental Science and Engineering*, Los Angeles, 112-128 (2001).

Polychroni, E., "GREEN-IT, Green Initiative for energy efficient eco-products in the construction industry, Deliverable No12: Comparison of European product labelling mechanisms", *Centre for Renewable Energy Sources EIE/05/024/SI2.419623*, 17-20 (2007).

Scheuer, C.W., Keoleian, G. A., "Evaluation of LEED using LCA methods", *NIST GCR 02-836, National Institute of Standards and Technology*, Ann Arbor, 16-18 (2002).

Scheuer, C., Keoleian, G.A., Reppe, P., "Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications", *Energy and Buildings*, 35 (10): 1049-64. (2003).

Schmidt, A.C., Jensen, A.A., Clausen, A.U., Kamstrup, O., Postlethwaite, D., "A comparative life cycle assessment of building insulation products made of stone wool, Paper wool and flax", Building Insulation Products, Part 1, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9 (1): 53-66 (2004).

Seppala, J., Koskela, S., Melanen, M., Palperi, M., "The Finnish metals industry and the environment", *Resources, Conservation and Recycling*, 35 (1-2): 61-76 (2002).

SETAC, "Guidelines for life-cycle assessment: a code of practice. Brussels: SETAC", 1-2 (1993).

Strand, S.M., "The MaSe decision support system: Development of an integrated information system for the selection of environmentally preferable materials and products in the building process", Doctoral thesis, *Norwegian University of Science and Technology*, Faculty of Engineering Science and Technology, 1-2, 59-67, 77-83 (2003).

Sylvatica, G.A.N., "An exploratory life cycle study of selected building envelope materials", *The Athena Sustainable Materials Institute Report, Canada*, 17-23 (1998)

Şentürk, H., "Yapı ürünlerinin çevresel etkileri: Bütünleşik ürün politikası bağlamında bir irdeleme", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2-3 (2008).

Tan, R.R., Culaba, A.B., “Environmental life-cycle assessment: a tool for public and corporate policy development”, *50th National Convention of the Philippine Society of Mechanical Engineers*, Philippines, 1-6 (2002).

Tuna Taygun, G., “Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2, 25-34, 45-124 (2005).

TSE, “Çevre etiketleri ve beyanları-genel prensipler”, *TS EN ISO 14020*, Ankara, 1-5 (2002).

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, *TS 825*, Ankara, 1-71(1998).

Vollenbroek, F.A., “Sustainable development and the challenge of innovation”, *Journal of Cleaner Production*, 10 (3): 215-223 (2002).

World Commission on Environment and Development (WCED), “Our Common Future”, *Oxford University Press*, London, 8-9 (1987).

Wu, X., Zhang, Z.H., Chen, Y.M., “Study of the environmental impacts based on the “green tax” – applied to several types of building materials”, *Building and Environment*, 40 (2): 227-37 (2005).

Xing, S., Xu, Z., Jun, G., “Inventory analysis of LCA on steel- and concrete-construction office buildings”, *Energy and Buildings*, 40: 1188-1193 (2008).

**EKLER**

EK-1 YDD yöntemi çerçevesindeki kavramlar [Gültekin, 2006]

Çizelge 1.1. YDD yöntemi çerçevesindeki kavramlar

İNGİLİZCE KAVRAMLAR	TÜRKÇE KARŞILIKLARI
Acid Rain	Asit Yağmuru
Acidification	Asitleşme
After Demolition Stage	Yıkım Sonrası Evre
Allocation Procedures	Dağıtım Yöntemleri
Aquatic Organic	Sucul Canlı
Assignment	Atama
Assumption	Varsayım
Biodiversity	Biyolojik Çeşitlilik
Bottom-Up Approach	Aşağıdan Yukarıya Yaklaşımı
Calculated Inventory	Hesaplanmış Veri Dökümü
Completed Inventory	Tamamlanmış Veri Dökümü
Category End Point	Sınıf Uç Noktası
Category Indicator	Sınıf Göstergesi
Characterization	Tanımlama
Characterization Model	Tanımlama Modeli
Classification	Sınıflandırma
Climate Change	İklim Değişikliği
Collected data	Toplanmış Veri
Comparative Assertion	Karşılaştırmalı İddia
Completeness	Bütünlük
Completeness Check	Bütünlük Kontrolü
Consistency	Tutarlılık
Consistency Check	Uygunluk Kontrolü
Construction	Yapı
Construction Component	Yapı Bileşeni
Construction Element	Yapı Elemanı
Construction Product	Yapı Ürünü
Construction Product System	Yapı Ürünü Sistemi
Construction Stage	Yapım Evresi
Construction System	Yapı Sistemi
Coral Reef	Mercan Kayaları
Cradle to Grave	Beşikten Mezara
Critical Review	Eleştirel Gözden Geçirme
Crop	Tarım Ürünü
Data Aggregation	Verilerin Derlenmesi
Data Quality	Veri Kalitesi
Data Quality Analysis	Veri Kalite Çözümlemesi
Data Quality Requirements	Veri Kalite Gereklere
Data Calculation Methods	Veri Hesaplama Yöntemleri
Data Collection	Veri Toplama

EK-1 (Devam) YDD yöntemi çerçevesindeki kavramlar [Gültekin, 2006]

Çizelge 1.1 (Devam). YDD yöntemi çerçevesindeki kavramlar

<b>Data Collection Methods</b>	Veri Toplama Yöntemleri
<b>Data Collection Sheet</b>	Veri Toplama Kağıdı
<b>Demolition Stage</b>	Yıkım Evresi
<b>Depletion of Abiotic Resources</b>	Abiyotik (Canlı) Kaynakların Tükenimi
<b>Depletion of Biotic Resources</b>	Biyotik (Cansız) Kaynakların Tükenimi
<b>Depletion of plant and animal species</b>	Bitki ve Hayvan Türlerinin Tükenimi
<b>Desertification</b>	Çölleşme
<b>Determining the Significant Issues</b>	Önemli Konuların Belirlenmesi
<b>Drought</b>	Kuraklık
<b>Ecosystem</b>	Ekosistem
<b>Ecotoxicity</b>	Ekolojik Zehirlenme
<b>Energy Flow</b>	Enerji Akışı
<b>Environmental Aspect</b>	Çevresel Boyut
<b>Elementary Flow</b>	Temel Akış
<b>Environmental Impact</b>	Çevresel Etki
<b>Elementary Input Flow</b>	Temel Girdi Akışı
<b>Emission</b>	Salm
<b>Environment</b>	Çevre
<b>Environmental Impact</b>	Çevresel Etki
<b>Environmental Management</b>	Çevre Yönetimi
<b>Environmental Management System</b>	Çevre Yönetim Sistemi
<b>Environmental Mechanism</b>	Çevresel İşleyiş
<b>Environmental Quality</b>	Çevre Kalitesi
<b>Elementary Output Flow</b>	Temel Çıktı Akışı
<b>Energy Supply</b>	Enerji Sağlama
<b>Environmental Relevance</b>	Çevresel İlişki
<b>Evaluation</b>	Değerlendirme
<b>Extraction of Raw Materials Stage</b>	Hammaddenin çıkarılması evresi
<b>External Expert Review</b>	Kuruluş Dışı Uzmanlar Tarafından Yapılan Gözden Geçirme
<b>Forest</b>	Orman
<b>Fossil Fuel</b>	Fosil Yakıt
<b>Function</b>	İşlev
<b>Functional Unit</b>	İşlevsel Birim
<b>Geographical Coverage</b>	Coğrafik Kapsam
<b>Global Warming</b>	Küresel Isınma
<b>Goal and Scope Definition</b>	Amaç ve Kapsam Tanımı (AKT)
<b>Greenhouse Gas</b>	Sera Gazı
<b>Grouping</b>	Gruplandırma
<b>Human Health</b>	İnsan Sağlığı
<b>Human Toxicity</b>	İnsan Zehirlenmesi

EK-1 (Devam) YDD yöntemi çerçevesindeki kavramlar [Gültekin, 2006]

Çizelge 1.1 (Devam). YDD yöntemi çerçevesindeki kavramlar

<b>Identification of Information</b>	Bilginin Tanımlanması
<b>Identification of Significant Issues</b>	Önemli Konuların Tanıtımı
<b>Illness</b>	Hastalık
<b>Impact Category</b>	Etki Sınıfı
<b>Input</b>	Girdi
<b>Input Flow</b>	Girdi Akışı
<b>Intermediate Product Flow</b>	Ara Ürün Akışı
<b>Interested Party</b>	İlgili Taraf
<b>Internal Expert Review</b>	Kuruluştaki Uzmanlar Tarafından Yapılan Gözden Geçirme
<b>Iterative</b>	Tekrarlanabilir
<b>Life Cycle</b>	Yaşam Döngüsü (YD)
<b>Life Cycle Assessment (LCA)</b>	Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD)
<b>Life Cycle Assessment Framework</b>	Yaşam Döngüsü Değerlendirme Çerçevesi
<b>Life Cycle Inventory Analysis (LCI)</b>	Yaşam Döngüsü Veri Çözümlemesi (YDVÇ)
<b>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</b>	Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)
<b>Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Profile</b>	Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED) Görünümü
<b>Life Cycle Interpretation</b>	Yaşam Döngüsü Yorumu (YDY)
<b>Life Cycle Assessment Methodology</b>	Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi
<b>Life Cycle Stages</b>	Yaşam Döngüsü Evreleri
<b>Limitations</b>	Kısıtlar
<b>Maintenance</b>	Bakım-onarım
<b>Mandatory Elements</b>	Zorunlu Elemanlar
<b>Methodological Framework</b>	Yöntemsel Çerçeve
<b>Natural Vegetation</b>	Doğal Bitki Örtüsü
<b>Normalization</b>	Normalleştirme
<b>Nutrient</b>	Besin Maddesi
<b>Nutrition</b>	Besin Birikimi
<b>Operation</b>	İşletim
<b>Optional Elements</b>	Zorunlu Olmayan Elemanlar
<b>Output</b>	Çıktı
<b>Output Flow</b>	Çıktı Akışı
<b>Phases of Life Cycle Assessment</b>	Yaşam Döngüsü Değerlendirme Aşamaları
<b>Practitioner</b>	Uzman
<b>Precision</b>	Kesinlik
<b>Process</b>	Süreç, İşlem
<b>Product</b>	Ürün
<b>Production</b>	Üretim
<b>Product Flow</b>	Ürün Akışı
<b>Product System</b>	Ürün Sistemi

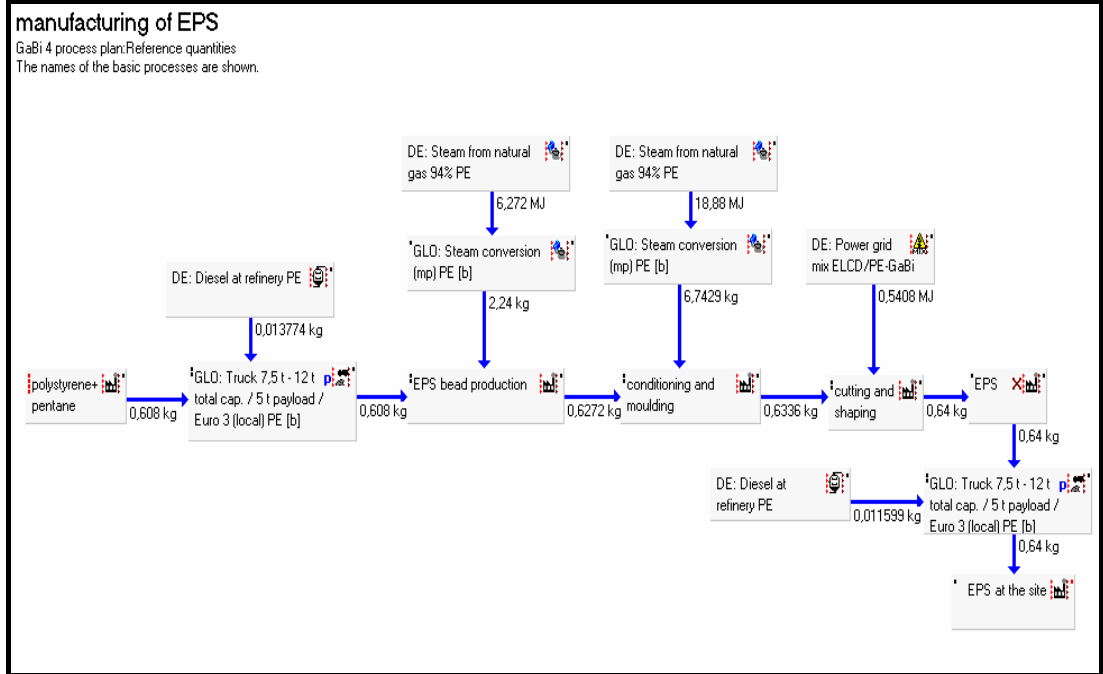
EK-1 (Devam) YDD yöntemi çerçevesindeki kavramlar [Gültekin, 2006]

Çizelge 1.1 (Devam). YDD yöntemi çerçevesindeki kavramlar

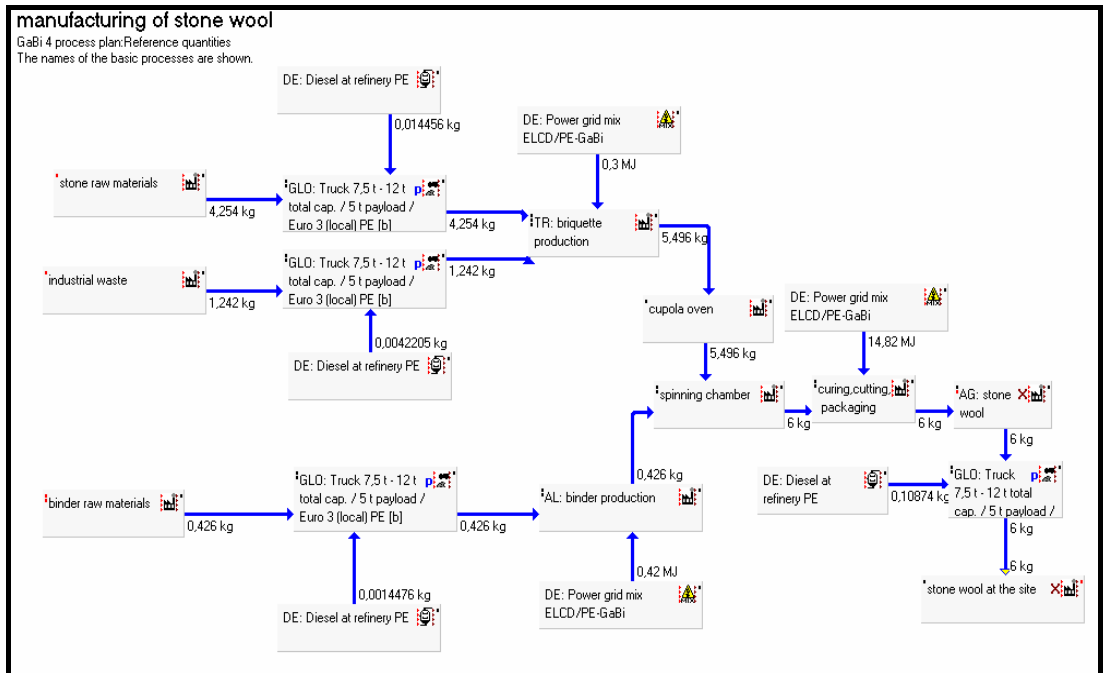
<b>Production Stage</b>	Üretim Evresi
<b>Raw Material</b>	Hammadde
<b>Raw Material Acquisition</b>	Hammaddenin Çıkarılması
<b>Recommendation</b>	Öneri
<b>Recycling</b>	Geridönüşüm
<b>Refining the system boundaries</b>	Sistem Sınırlarının Kesinleştirilmesi
<b>Refurbishment</b>	Yeniden İşlevlendirme
<b>Relating Data to Functional Unit</b>	Verilerin İşlevsel Birimle İlişkilendirilmesi
<b>Relating Data to Unit Processes</b>	Verilerin Birim İşlemlerle İlişkilendirilmesi
<b>Renovation</b>	Yenileme
<b>Reporting</b>	Rapor Hazırlama
<b>Representativeness</b>	Temsil Edilebilirlik
<b>Reproducibility</b>	Tekrarlanabilirlik
<b>Reuse</b>	Yeniden Kullanım
<b>Sensitivity Check</b>	Hassasiyet Kontrolü
<b>Service Life</b>	Hizmet Ömrü
<b>Smog</b>	Sis
<b>Stratospheric Ozone Depletion</b>	Stratosferdeki Ozon Tükенimi
<b>Structuring of Information</b>	Bilginin Yapılandırılması
<b>Supporting System</b>	Destekleyici Sistem
<b>System Boundary</b>	Sistem Sınırı
<b>System Level</b>	Sistem Düzeyi
<b>Technology Coverage</b>	Teknolojik Kapsam
<b>Time-related Coverage</b>	Zamansal Kapsam
<b>Terrestrial Organic</b>	Karasal Canlı
<b>Top-Down Approach</b>	Yukarıdan Aşağıya Yaklaşımı
<b>Toxic Substances</b>	Zehirli Maddeler
<b>Toxicity (Air, Water, Land)</b>	Kirlilik (Hava, Su, Toprak)
<b>Transparency</b>	Şeffaflık
<b>Transport</b>	Taşıma
<b>Unit Process</b>	Birim İşlem
<b>Unit Process Flow</b>	Birim İşlem Akışı
<b>Use</b>	Kullanım
<b>Usage Stage</b>	Kullanım Evresi
<b>Validated Data</b>	Onaylanmış Veri
<b>Validation of Data</b>	Verilerin Onaylanması
<b>Volatile Organic Compound</b>	Uçucu Organik Bileşen
<b>Waste</b>	Atık
<b>Waste Treatment</b>	Atık İşleme
<b>Weighting</b>	Ağırlıklandırma



## EK-2 GaBi 4'te EPS ve taş yünü için üretim işlem planları



Şekil 2.1. EPS'nin üretim işlem planı



Şekil 2.2. Taş yünü'nün üretim işlem planı

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAMUR, Canay  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 20.10.1975 Ankara  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (312) 410 16 66  
Faks : 0 (312) 425 34 85  
e-mail : [ccanay75@hotmail.com](mailto:ccanay75@hotmail.com)

### Eğitim Derece

### Eğitim Birimi

### Mezuniyet tarihi

Lisans	ODTÜ/Mimarlık Bölümü	1997
Lise	Özel Arı Koleji	1993

### İş Deneyimi Yıl

### Yer

### Görev

1997-Devam ediyor	Bayındırlık ve İskan Bakanlığı	Mimar
-------------------	--------------------------------	-------

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Tenis, Zeka oyunları