

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRK YAPI MALZEMESİ SEKTÖRÜ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ
DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

Saniye KARAMAN ÖZTAŞ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

ARALIK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRK YAPI MALZEMESİ SEKTÖRÜ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ
DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

**Saniye KARAMAN ÖZTAŞ
(502092011)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Leyla TANAÇAN

ARALIK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502092011 numaralı Doktora Öğrencisi **Saniye KARAMAN ÖZTAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TÜRK YAPI MALZEMESİ SEKTÖRÜ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Leyla TANAÇAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Halit Y. ERSOY**
Mimar Sinan Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan YAMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşe Zerrin YILMAZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Tülay ESİN
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **22 Kasım 2014**
Savunma Tarihi : **02 Aralık 2014**

Babam'a,

ÖNSÖZ

Bu zorlu yolda beni her zaman destekleyen ve yüreklendiren, çalışmalarımı yönlendiren sevgili hocam Prof. Dr. Leyla TANAÇAN'a tüm katkıları ve içtenliği için çok teşekkür ederim. Tez çalışması boyunca tecrübelerinden yararlandığım hocalarım Prof. Dr. Halit YAŞA ERSOY ve Doç. Dr. Hakan YAMAN'a eleştiri ve yol gösterici yorumları için sonsuz teşekkürler ederim.

Çalışmanın yürütülmesi için maddi destek aldığım İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi'ne

Görev yaptığım Gebze Teknik Üniversitesi'nden tez çalışmam öncesinde ve sonrasında beni destekleyen ve yanımda olan sevgili hocalarım Prof. Dr. Tülay ESİN'e, Prof. Dr. Nilay COŞGUN'a, Doç. Dr. Elif Özlem AYDIN'a, Yrd. Doç. Dr. Cahide AYDIN İPEKÇİ'ye, arkadaşlarım Dr. Ayşenur Albayrak'a, Sedef GÜNEY'e, Pınar KÜÇÜKYAĞCI'ya ve tüm çalışma arkadaşlarıma,

Beni her yönden destekleyen sevgili eşim Volkan ÖZTAŞ'a,

Manevi destekleriyle hep yanımda olan sevgili annem Nebahat KARAMAN'a ve Meral ÖZTAŞ'a, Ahmet NİSAN ÖZTAŞ'a, kardeşlerim Uğur KARAMAN, Ayşegül KARAMAN, Nida ÖZTAŞ ve Şeyma ÖZTAŞ'a, sevgili halam Nezahat KARAMAN ve tüm aileme,

Ve bu yola baş koymamın nedeni olan sevgili babam Ahmet KARAMAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2014

Saniye Karaman Öztaş
(Öğretim Görevlisi- Y.Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Problemin Belirlenmesi	2
1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar	4
1.2.1 Tüm ürün sınıflarının çevresel etki değerlendirmesine yönelik olarak yapılmış olan YDED çalışmaları.....	4
1.2.2 Yapı malzemelerinin çevresel etki değerlendirmesine yönelik olarak yapılmış olan YDED çalışmaları.....	6
1.3 Tezin Amacı	8
1.4 Tezin Kapsamı.....	9
1.5 Tezin Yöntemi	10
2. YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ DEĞERLENDİRMESİ	13
2.1 Tüm Ürün Sınıflarının Çevresel Etki Değerlendirmesine Yönelik YDED Modelleri	17
2.1.1 Orta nokta yaklaşım modelleri	19
2.1.1.1 CML	20
2.1.1.2 Ecological Footprint (Ekolojik Ayak İzi).....	20
2.1.1.3 TRACI (Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılmasına Yönelik Araç).....	20
2.1.1.4 EDIP (Endüstri Ürünlerinin Çevresel Tasarımı)	21
2.1.1.5 CED (Birikimli Enerji Talebi).....	21
2.1.1.6 MEEup (Enerji Kullanan Ürünlerin Değerlendirme Modeli)	21
2.1.1.7 CExD (Birikimli Ekserji Talebi)	22
2.1.1.8 EPD (Çevresel Ürün Bildirgesi).....	22
2.1.1.9 USEtox	22
2.1.2 Son nokta yaklaşım modelleri	22
2.1.2.1 EPS (Çevresel Öncelik Stratejileri).....	22
2.1.2.2 Eco Scarcity (Ekolojik Az Bulunurluk)	23
2.1.2.3 Eco Indicator 99 (Eko Gösterge 99).....	23
2.1.2.4 IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli)	25
2.1.2.5 EDP (Ekosistem Hasar Potansiyeli).....	25
2.1.2.6 Jepix (Japonya çevresel politik öncelikler göstergesi).....	25
2.1.3 Orta ve son nokta yaklaşımlarını birleştiren yaklaşım modelleri.....	25
2.1.3.1 Impact 2002+.....	26
2.1.3.2 LIME	26

2.1.3.3 LUCAS (Kanada'ya Özgü YDED Modeli)	27
2.1.3.4 RECIPE	27
2.2 Yapı Malzemelerinin Çevresel Etkilerini Değerlendiren YDD Araçlarındaki YDED Modelleri	28
2.2.1 BEES (Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik)	29
2.2.2 BRE- environmental profiles (Yapı Araştırma Kurumu - çevre profilleri)	34
2.2.3 Athena Impact Estimator (AthenaIE- Athena Etki Değerlendiricisi)	36
2.2.4 BEPAS (Yapı Çevresel Performans Analiz Sistemi).....	37
2.2.5 BELES (Yapı Çevre Yüğü Değerlendirme Sistemi).....	37
2.2.6 BPIC -ICIP (Yapı Ürünleri İnnovasyon Konseyi - Sanayi Ortaklığı Yenilikçilik Programı)	38
2.3 YDED Modellerinin Karşılaştırılması	41
2.3.1 Çevresel etki kategorilerinin, tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesi	42
2.3.2 Sınıflandırma.....	52
2.3.3 Tanımlama	52
2.3.4 Normalleştirme.....	52
2.3.5 Ağırlıklandırma	54
2.4 Bölüm Sonucu	56
3. TÜRK YAPI MALZEMESİ SEKTÖRÜ İÇİN BİR YDED MODELİ	59
3.1 Çevresel Etki Kategorilerinin Seçilmesi	59
3.1.1 Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü sürecinde neden oldukları çevresel etkiler	60
3.1.2 Türkiye'deki çevresel problemler	63
3.1.2.1 Küresel Isınma	63
3.1.2.2 Ozon tabakasının incelenmesi.....	64
3.1.2.3 Asitleşme.....	65
3.1.2.4 Ötrofikasyon.....	65
3.1.2.5 Fotokimyasal sis oluşumu	66
3.1.2.6 İç hava kalitesi.....	66
3.1.2.7 Fosil yakıtların tüketilmesi.....	67
3.1.2.8 Mineral kaynakların tüketilmesi	67
3.1.2.9 Su tüketilmesi.....	68
3.1.2.10 Atık.....	68
3.1.2.11 Arazi kullanımı.....	69
3.2 Tanımlama Modellerinin ve Kategori Göstergelerinin Seçilmesi.....	69
3.3 Envanter Sonuçlarının Sınıflandırılması ve Veri Kaynaklarının Belirlenmesi	75
3.4 Tanımlama; Kategori Gösterge Sonuçlarının Hesaplanması	77
3.5 Normalleştirme.....	78
3.6 Ağırlıklandırma	78
3.6.1 Panelde uygulanacak yöntem ve değerlendirme yaklaşımı	80
3.6.1.1 Anket yöntemi ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	80
3.6.2 Uzman grup üyelerinden oluşturulan panelistlerin belirlenmesi	82
3.6.3 Anketin geliştirilmesi ve panelistlerle görüşme.....	83
3.6.4 Panelde uygulanacak yöntem ve değerlendirme yaklaşımı	84
3.7 Gruplandırma	86
3.8 Toplam Çevresel Performans Değerinin Hesaplanması.....	88
3.9 Modelin Değerlendirilmesi	89
3.9.1 Çevresel etki kategorileri açısından değerlendirilme	92

3.9.2 Tanımlama modelleri ve kategori göstergeleri açısından değerlendirilme	93
3.9.3 Normalleştirme açısından değerlendirilme	94
3.9.4 Ağırlıklandırma açısından değerlendirilme.....	94
4. YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ DEĞERLENDİRMESİNE YÖNELİK MODELİN GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTİREN KÖPÜK (EPS) MALZEMESİ ÜZERİNDE SINANMASI.....	101
4.1 EPS'nin Üretim Süreci	101
4.2 EPS'nin YDED-TR Modeline Göre Çevresel Etki Değerlendirmesi.....	103
4.2.1 Yaşam Döngüsü Envanter Verilerinin Sınıflandırılması	105
4.2.2 Tanımlama.....	106
4.2.3 Normalleştirme.....	109
4.2.4 Ağırlıklandırma	112
4.3 EPS'nin YDED TR Modeli Sonuçlarının Diğer YDED Model Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	113
4.4 EPS için Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi ve Yaşam Döngüsü Yorumu	116
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	119
KAYNAKLAR.....	125
EKLER.....	137
ÖZGEÇMİŞ	149

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AHP	: Analitik Hiyerarşı Süreci (Analytical Hierarchy Process)
AP	: Asitleşme Potansiyeli (Acidification Potential)
ASTM	: Amerikan Test Etme ve Ürünler Topluluğu (American Society of Testing and Materials)
BEES	: Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik (Building for Environmental and Economic Sustainability)
BELES	: Yapı Çevre Yüğü Değerlendirme Sistemi (Building Environment Load Evaluation System)
BEPAS	: Yapı Çevresel Performans Analiz Sistemi (Building Environmental Performance Analysis System)
BTEP	: Bin ton eşdeğer petrol
BPIC	: Building Products Innovation Council (Yapı Ürünleri İnnovasyon Konseyi)
BRE	: Yapı Araştırma Kurumu (Building Research Establishment)
CED	: Birikimli Enerji Talebi (Cumulative Energy Demand)
CExD	: Birikimli Ekserji Talebi (Cumulative Exergy Demand)
CF	: Dönüştürme katsayısı (Characterization factor)
Cİ	: Kategori Göstergesi (Category indicator)
CTU	: Karşılaştırmalı Zehirlenme Birimi (Comparative Toxic Unit)
DALY	: Engelli geçen yaşam yılları (Disability Adjusted Life Years)
EDIP	: Endüstri Ürünlerinin Çevresel Tasarımı (Environmental Design of Industrial Products)
EDP	: Ekosistem Hasar Potansiyeli (The ecosystem damage potential)
ELCD	: Avrupa Referans Yaşam Döngüsü Veritabanı (European Reference Life Cycle Database)
ELU	: Çevresel Yüğü Birimi (Environmental Load Unit)
ENVER	: Türkiye Enerji Verimliliği Derneği
EPA	: Çevre Koruma Derneği (Environmental Protection Agency)

EP	: Ötrofikasyon Potansiyeli (Eutrophication Potential)
EPD	: Çevresel Ürün Bildirgesi (Environmental Product Declaration)
EPS	: Çevresel Öncelik Stratejileri (Environmental Priority Strategies)
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential)
HTP	: İnsan Zehirliliği Potansiyeli (Human Toxicity Potentials)
ICIP	: Sanayi Ortaklığı Yenilikçilik Programı (Industry Cooperative Innovation Programme)
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization)
JEPIX	: Japonya Çevresel Politik Öncelikler Göstergesi (Japan environmental policy priorities index)
LUCAS	: Kanadaya özgü YDED modeli (LCIA method used for a Canadian- specific context)
MEEup	: Enerji kullanan ürünlerin değerlendirme yöntemi (Methodology study Eco- design of Energy Using Products)
NF	: Normalleştirme katsayısı (Normalization factor)
NIST	: ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (National Institute of Standards and Technology)
NMVOC	: Metan olmayan uçucu organik bileşikler (Non methane volatile organics compound)
ODP	: Ozon tabakasının incelmeye potansiyeli (Ozone Depletion Potential)
PDF	: Kaybolan potansiyel bölümler
SETAC	: Çevresel Zehirlenme ve Kimya Derneği (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry)
SimaPro	: Ürünlerin Bütünleşmiş Çevresel Değerlendirme Sistemi (System for Integrated Environmental Assessment of Products)
SP	: Sis Üretimi (Smog Production)
TEPi	: Zehirlenme eşdeğer potansiyeli (Toxicity Equivalent Potential)
TED	: Tehlike ve tehlik altındaki türlerin yoğunluğu (Threatened and Endangered Species Density)
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TR	: Türkiye
TRACI	: Kimyasal ve diğer çevresel etkilerin azaltılması ve değerlendirilmesi aracı (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TOBB	: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

SCE	: Standart soğuk enerji (Standard Cool Energy)
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme)
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change)
WF	: Ağırlıklandırma katsayısı (Weighting factor)
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
WMO	: Dünya Meteorolojik Örgütü (World Meteorological Organization)
YDD	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment- LCA)
YDE	: Yaşam Döngüsü Envanteri (Life Cycle Inventory- LCI)
YDED	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (Life Cycle Impact Assessment- LCIA)
YDY	: Yaşam Döngüsü Yorumu (Life Cycle Interpretation)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : YDED evresinin zorunlu adımlarının küresel ısınma ve ötrifikasyon için örneklendirilmesi.	14
Çizelge 2.2: YDED modellerinin oluşturulduğu ülkeler ve model yaklaşımları.	19
Çizelge 2.3: Yapı malzemelerini esas alan YDD araçlarındaki YDED modellerinin oluşturulduğu ülkeler ve model yaklaşımları.	29
Çizelge 2.4: BEES için fosil kaynakların dönüştürme katsayıları.	31
Çizelge 2.5: Değerlendirilen YDED modellerinde izlenen adımlar.	42
Çizelge 2.6: YDED modellerinde değerlendirilen çevresel etki kategorileri.	43
Çizelge 2.7: Yapı malzemelerini ele alan YDED modellerinde değerlendirilen çevresel etki kategorileri.	44
Çizelge 2.8: GWP için kullanılan dönüştürme katsayıları.	45
Çizelge 2.9: WMO'da ODP için kullanılan dönüştürme katsayıları.	46
Çizelge 2.10: Asitleşme potansiyeli için kullanılan bazı dönüştürme katsayıları.	46
Çizelge 2.11: Ötrifikasyon potansiyeli için kullanılan bazı dönüştürme katsayıları.	47
Çizelge 2.12: Kirli sis üretimi için kullanılan bazı dönüştürme katsayıları.	47
Çizelge 2.13: YDED modellerinde kullanılan kategori göstergesi referans salımları ve referans birimleri.	49
Çizelge 2.14: Yapı malzemelerini ele alan YDED modellerinde kullanılan kategori göstergesi referans salımları ve birimleri.	51
Çizelge 2.15: YDED modellerindeki normalleştirme referans değerleri.	53
Çizelge 2.16: YDED modellerindeki ağırlıklandırma yöntemleri.	55
Çizelge 2.17: YDED modellerindeki ağırlıklandırma katsayıları.	56
Çizelge 3.1: Türkiye için önerilen YDED modelinde seçilen etki kategorileri.	60
Çizelge 3.2: 1990- 2011 yılları arasındaki sera gazı salımları (milyon ton CO2 eşdeğeri).	66
Çizelge 3.3: Bazı sera gazlarının GWP dönüştürme katsayıları.	71
Çizelge 3.4: Salımların ODP dönüştürme katsayıları.	72
Çizelge 3.5: Salımların Avrupa için AP dönüştürme katsayıları.	72
Çizelge 3.6: Salımların EP dönüştürme katsayıları.	73
Çizelge 3.7: Salımların fotokimyasal sis oluşum potansiyeli (POCP) dönüştürme katsayıları (CML, 2012).	76
Çizelge 3.8: Enerji kaynaklarının ton eşdeğer petrol (TEP) dönüştürme katsayıları.	74
Çizelge 3.9: YDED TR modeli için önerilen kategori göstergesi referans salımları ve birimleri.	77
Çizelge 3.10: Karar elemanlarının göreceli önem derecelerini belirlemeye yönelik karşılaştırma ölçeği ve tanımları (Saaty, 1982).	83
Çizelge 3.11: Kriterlerin amaca göre ikili karşılaştırma matrisi.	81

Çizelge 3.12: Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırma katsayılarının panelist gruplara göre karşılaştırılması.	87
Çizelge 3.13: YDED TR modelinde çevresel etki kategorilerinin sınıflandırılması.	87
Çizelge 3.14: Yapı malzemeleri ile ilgili YDED modellerinde ve YDED TR modelinde seçilen çevresel etki kategorileri.	95
Çizelge 4.1: EPS için veri tablosu (Sylvatica, 1998).	104
Çizelge 4.2: EPS verilerinin çevresel etki kategorilerine sınıflandırılması.	105
Çizelge 4.3: Bir kg EPS'nin YDED TR modeline göre hesaplanan kategori göstergesi sonuçları.	111
Çizelge 4.4: Bir kg EPS için YDED TR modeline göre hesaplanan normalleştirilmiş etki değerlendirme puanı.	113
Çizelge 4.5: Bir kg EPS için YDED TR modeline göre hesaplanan normalleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış çevresel performans değeri.	112
Çizelge 4.6: Bir kilogram EPS için YDED modellerine göre ham etki değerlendirme puanları.	115
Çizelge 4.7: Bir ton EPS için normalleştirilmiş (birimsizleştirilmiş) değer.	116
Çizelge B.1 : Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırılmasında kullanılan anket.	143
Çizelge C.1 : Uzman grup üyelerinden oluşan panelistler.	145
Çizelge D.1 : Her bir paneliste göre hesaplanmış ağırlıklandırma katsayıları.	147

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Yapıların ve yapı malzemelerinin “beşikten beşiğe” yaşam döngüsü.....	9
Şekil 2.1 : Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi evresinin adımları.....	13
Şekil 2.2 : YDED evresinin zorunlu adımları, asitleşme örneği (ISO 14040, 2006).	15
Şekil 2.3 : YDE sonuçlarının orta ve son nokta çevresel etki kategorileriyle ilişkisi (Jolliet ve diğ, 2003).....	18
Şekil 3.1 : 2011 yılı için Türkiye birincil enerji arzında kaynakların payı.....	67
Şekil 3.2 : Uzmanlardan oluşan ve tutarlı olan panelistlerin gruplara göre dağılım yüzdeleri.	83
Şekil 3.3 : Türkiye için belirlenen çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırma katsayıları.	85
Şekil 3.4 : Ağırlıklandırma katsayılarının panelist gruplara göre karşılaştırılması. ..	86
Şekil 3.5 : Seçilen orta nokta etki kategorilerinin son nokta etki kategorilerine gruplandırılması.	88
Şekil 3.6 : Türk yapı malzemesi sektörü için geliştirilen modelin kullanılabilirliği.	91
Şekil 3.7 : Ağırlıklandırma katsayılarının ülkelere göre karşılaştırılması.	98
Şekil 3.8 : Ağırlıklandırma katsayılarının ülkelere göre karşılaştırılması.	999
Şekil 4.1 : EPS’nin malzeme akış diyagramı (Amerikan Mimarlar Enstitüsü, 1998).....	102
Şekil 4.2 : EPS’nin üretim şeması (Avrupa EPS Üreticileri Derneği, 2009).....	102
Şekil 4.3 : EPS envanter akış diyagramı (Gabi 4 yazılımı)	103
Şekil 4.4 : SimaPro (7.1) YDD aracı, EPS’nin veritabanından seçilmesi.....	114
Şekil 4.5 : SimaPro (7.1) YDD aracı ile YDED modeli olarak CML2001’in seçilmesi.....	114
Şekil A.1: YDED TR modelinin adımları.....	139

TÜRK YAPI MALZEMESİ SEKTÖRÜ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ

ÖZET

Yapı malzemelerinin, yaşam döngüleri içinde çevreye zarar veren önemli etkileri vardır. Bu etkilerin değerlendirilmesi malzemelerin çevreye olan zararlarının azaltılmasını ve çevreye duyarlı ürünlerin seçilmesini sağlamaktadır.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), yapı malzemelerinin ve yapıların tüm yaşam döngüsü içinde sebep olduğu çevresel etkilerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED), yaşam döngüsü envanterini esas alan çeşitli çevresel etkilerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan YDD yönteminin bir evresidir. Çevresel etki kategorilerinin, tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesi, envanter sonuçlarının düzenlenmesi (sınıflandırma), kategori gösterge sonuçlarının hesaplanması (tanımlama), normalleştirme, gruplandırma ve ağırlıklandırma adımlarından oluşan YDED; bileşenlerindeki belirsizliklerinden, modeller arasındaki yaklaşım farklılıklarından dolayı YDD yönteminin en zayıf fakat en önemli bölümlerindendir.

YDED modellerinde, çevresel etkilerin değerlendirilmesinde ve bu etkilerin önem derecesinin belirlenmesinde yerel faktörler etkili olmaktadır. Bu nedenle çoğu ülke kendi çevresel durumunu değerlendirmeyi amaçlayan YDED modelleri oluşturmaktadır. Bu modellerin yanı sıra Amerika, İngiltere, Avustralya gibi bazı ülkelerde yapı malzemelerinin çevresel etkilerini değerlendiren YDD araçları oluşturularak, bu araçların bir evresi olan YDED modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerdeki önemli farklılıklardan biri tanımlama adımında, çevresel etkilerin nicel olarak değerlendirildiği noktalardır. Buna göre, modeller orta nokta yaklaşım modelleri, son nokta yaklaşım modelleri ve her iki yaklaşımı birleştiren modeller olarak sınıflandırılmaktadır. YDED modelleri aynı zamanda seçilen çevresel etki kategorisi ya da kategorileri; seçilen tanımlama modeli ve kategori göstergeleri; normalleştirme referans değerleri; ağırlıklandırmada seçilen yöntemler ve katsayılar açısından da farklılaşmaktadır.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde bu çalışmalar sınırlı bir seviyede kalmaktadır. Bazı araştırmalar yapı malzemelerinin YDD'sine yöneliktir. Bu çalışmalarda YDED evresi için Athena, Gabi ve SimaPro gibi YDD araçlarındaki YDED modelleri kullanılmaktadır. Ancak, bu çalışmalarda Türkiye'ye özgü sonuçlar yansıtılmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma da Türkiye'de üretilen yapı malzemelerinin tüm yaşam döngüsünü ele alan bir YDED modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. ISO 14040 standartlarını esas alan orta nokta yaklaşım modeli önerilmiştir. Türkiye'deki çevresel konular, EN 15804 standardı ve mevcut YDED modellerinde çoğunlukla kullanılan etki kategorileri dikkate alınarak yapı malzemelerinin sebep olduğu 11 çevresel etki kategorisi seçilmiştir. Bu seçilenlerden

yedi etki kategorisi için, EN 15804 standardı esas alınarak tanımlama modelleri ve kategori göstergeleri seçilmiştir. Geri kalan 4 etki kategorisi için Türkiye'ye özgü veriler esas alınarak tanımlama modelleri ve kategori göstergeleri belirlenmiştir. Bu etki kategorileriyle ilgili ağırlıklandırma katsayıları, panel yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ağırlıklandırma sonucunda, seçilen 11 çevresel etki kategorisi Türkiye için yüksek riskli, orta riskli ve düşük riskli çevre sorunları olarak gruplandırılmıştır. Normalleştirme referans değeri olarak bir Türk vatandaşının sebep olduğu çevresel etki önerilmiştir. YDED evresi için toplam çevresel performansın hesaplandığı bir bağıntı önerilerek modelin faydaları, kısıtlamaları ve modelde karşılaşılan zorluklar açıklanmıştır. Model geliştirilmiş polistren köpük malzemesi üzerinde denenmiş ve modelin sonuçları diğer YDED modelleri ile karşılaştırılmıştır. Son olarak, Türk yapı malzemesi sektörü için gelecekte yapılacak YDD çalışmalarına yönelik öneriler getirilmiştir. Bu modelin yapım sektöründe sürdürülebilir yapı malzemelerinin seçilmesinde ve elde edilmesinde referans olabileceği düşünülmektedir.

A MODEL PROPOSAL FOR LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT FOR THE TURKISH BUILDING MATERIALS SECTOR

SUMMARY

Building materials have significant impact on the environment through their life cycle. The assessment of these impacts provides the reduction of environmental hazards and selection of environmental friendly products.

Life Cycle Assessment (LCA) is a commonly used method for evaluating the environmental impacts caused by building materials and the whole life cycle of a building. Life Cycle Impact Assessment (LCIA) is a phase of LCA in order to quantify various environmental impacts based on the inventory analysis. LCIA that consists of selection of the environmental impact categories, characterization models and category indicators; classification of the inventory results; characterization; normalization; grouping and weighting is the weakest but the most important phase of LCA due to uncertainties of the components and approach differences among LCIA models.

LCIA has mandatory and optional elements. The first mandatory element of a LCIA phase is the selection of environmental impact categories that is consistent with the goal and scope of the LCA and should reflect a comprehensive set of environmental issues related to the product system being studied. Secondly, category indicator that is quantifiable representation of an impact category is selected in accordance with the characterization model. For example, category indicator for global warming is radiative forcing. A characterization model reflects the environmental mechanism, that is a system of physical, chemical and biological processes for a given impact category, by describing the relationship between life cycle inventory analysis (LCI) results and the category indicators. The characterization factor (CFs) that is derived from the characterization model is applied to convert an assigned LCI result to the common unit of the category indicator. In the classification, the emissions and resources in the LCI are assigned to the selected environmental impact categories. In the characterization, category indicator results are calculated. In normalization as an optional element, the results of each impact category are divided by a reference value. Thus, all environmental impact categories are made dimensionless. In the weighting, importance degrees of the environmental impact categories are specified according to the region or the country in which the model is developed. In grouping, the impact categories are sorted and possibly ranked in a given hierarchy like high, medium, and low priority.

Local factors are effective in evaluating and determining the significance of environmental impacts. The most accurate findings for the environmental impact assessment are usually obtained where the product, process, technology, and location specific data for a building product is used. Therefore, the developed countries create LCIA models aimed at assessing their own environmental situations. On the other

hand, some countries such as America, England and Australia develop LCA tools that include LCIA models about building materials. One of the important differences among the models is the point in which environmental impact categories evaluated quantitatively in the characterization. Accordingly, midpoint approach models, endpoint approach models and models that combine two approaches are developed. The models are also different in specific aspects such as the quantity and the concept of the selected impact categories; the selected category indicators and characterization models; normalization reference values; weighting methods and weighting factors. Considering the local parameters in LCIA, country specific LCIA models for building materials need to be created.

LCA studies done on buildings are limited in developing countries such as Turkey. Some research has been done on LCA of the building materials. LCIA models in LCA programs such as Athena, Gabi and SimaPro are used for LCIA phase in these studies. However, these researches do not reflect Turkey specific results about LCIA. Therefore, it is aimed to develop a LCIA model for the building materials produced in Turkey. In this study, the existing LCIA models are evaluated. A mid point approach model based on ISO 14040 standard is proposed. It is thought that this approach model would be the initial step previous to develop a LCIA model that combines mid and end point approaches. The model includes the whole life cycle stages of the building materials such as the extraction of raw materials, manufacturing, transportation, construction, use and maintenance, reuse, recycling which is defined as "cradle to cradle".

EN 15804 standard about construction materials states that an impact assessment should be carried out for the following 7 impact categories: global warming, ozone depletion, acidification, eutrophication, photochemical ozone formation, depletion of abiotic resources and fossil resources. Hence, environmental impact categories of this model are determined by considering the categories given in EN 15804 standard; environmental issues specific to Turkey conditions and by analysing the most frequently evaluated categories of the existing LCIA models done especially for building materials. Eleven environmental impact categories such as global warming, ozone depletion, acidification, photochemical ozone formation, eutrophication, fossil fuel depletion, mineral resource depletion, water depletion, land use, indoor air quality (IAQ) and waste are selected.

It is difficult to decide which category indicators and characterisation models are the best for the people studying on the buildings and building materials. Because there are many category indicators and characterisation models for each environmental impact category. And the selection the best indicator and characterisation model requires expertise in environmental engineering and environmental issues. In this respect, the category indicators and characterization models based on EN 15804 standard are selected for seven categories. So the comparisons of the LCA results will be possible at the European level. For instance, the characterization models and category indicators of the global warming and ozon depletion, there is a consensus among all the models. For other 4 categories such as water depletion, waste, land use and indoor air quality, is specifically based on the data collected from Turkey. Characterization models, category indicators and reference emission or unit for category indicators are recommended.

Weighting although is not the mandatory element according to ISO 14040 standard is the element in which local data becomes important. Determination of the

importance degree is possible by weighting of the selected environmental impact categories. Therefore in this study, weighting factors of environmental impact categories are calculated by taking the environmental issues of Turkey into consideration. Weighting factors of the selected impact categories are determined by using a panel approach. Panelists are selected from the environmental experts in the universities, government and building materials sector. In total, thirty expert panelists are interviewed. A survey for the weighting of the environmental impact categories is prepared in accordance with the Analytic Hierarchy Process (AHP) proposed by Saaty. Panelists are asked 55 pair-wise comparisons for the eleven impact categories. The data is obtained as a result of the interviews given by each panelist. Survey results are analyzed by the Super Decisions program in which AHP method is applied. One of the advantages of this program is the calculation of inconsistency during the analysis. Thus, six of thirty responses of the panelist are excluded from the survey because of the inconsistency of the answers. Weighting factors are calculated based on the geometric mean for each eleven categories. Results were evaluated separately according to the environmental experts from the universities, government and the building materials sector. As a result of the weighting; fossil depletion, global warming, water depletion and waste are grouped as high risk environmental issues; indoor air quality, mineral resource depletion are grouped as moderate risk environmental issues; ozone depletion, acidification, photochemical ozone formation, eutrophication are grouped as low risk environmental issues for Turkey.

Normalization is important in terms of comprehensibility of the information. The using of local data as a reference value is important. In normalization, the yearly average pollution generated by a Turkish inhabitant is proposed as a normalization factor. A formula to calculate total environmental performance score is proposed for this model and the benefits, limitations and difficulties in LCIA model for Turkey are explained.

The LCIA model developed for Turkey is tested for expanded polystyrene foam (EPS) that is one of the major building materials in Turkey. There is no LCI data for building materials sector. Therefore, data from Sylvatica for Athena Sustainable Materials Institute are used for LCIA model for Turkey. One kilogram EPS is chosen as a functional unit. Firstly the inventory data are classified for eleven impact categories. Then characterized, normalized and weighted scores are calculated. Total environmental performance score can not be calculated due to lack of data. Results of the model are compared with other LCIA models for the same functional unit for EPS using by SimaPro LCA tool. According to the interpretation phase, water depletion is the most important category for EPS. Waste, fossil fuel depletion and global warming categories follow the water consumption. Environmental impact score for mineral consumption is negligible. In this phase, lack of the inventory is also determined for Turkey LCIA model.

Finally, suggestions for further LCA-based research and development projects, which should focus on the applicability and the future profit for the Turkey construction sector, are made. It is assumed that LCIA model developed for Turkey will be a reference for the selection and production of sustainable building materials in the Turkey's construction market.

1. GİRİŞ

Dünyada hızlı nüfus artışı sonucunda çevre kirliliğinin giderek artması ve doğal kaynakların hızla tüketilmesi, yapım sektöründe “çevre dostu (sürdürülebilir) yapılar” konusunu önemli hale getirmektedir. Çevre dostu yapılar ile hammadde, enerji ve su kaynaklarının verimli kullanılması, doğaya olan salımların ve atıkların azaltılması, iç mekân hava kalitesinin artırılması mümkün olmaktadır.

Çevre dostu yapıların üretilmesinde yapı malzemelerinin çevresel özelliklerinin değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), bir ürün ya da hizmetin “beşikten beşiğe” olarak tanımlanan tüm yaşam döngüsü içinde çevresel etkilerini değerlendirmede yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

YDD’nin tarihçesine bakıldığında, ürünlerin ve malzemelerin yaşam döngülerinin ele alınmasına ait ilk çalışmaların 1960’ların sonu, 1970’lerin başına dayanmakta olduğu ve bu çalışmalarda enerji etkinliği, hammaddenin tüketimi ve atıkların elden çıkarılması konularının üzerinde durulduğu görülmektedir. Örneğin 1969 yılında, “Coca Cola” şirketi içecek kutularının hammadde tüketimini ve çevresel atıklarını değerlendirmek için yaptığı çalışmada, cam ve plastik kap arasındaki malzeme seçiminde enerji konusunu ele almıştır (Jensen ve diğ, 1997). YDD’nin ilkesi; ürünlerin çevreye olan zararlı etkilerini belirlemek ve azaltmak, ekolojik çevreye en az düzeyde zarar veren ürünlerin seçilmesini sağlamaktır (EPA, 1994; Keoleian ve diğ, 1994; Curran, 1996; EC, 1997; TSE, 1998; Harris, 1999; Trusty ve Meil, 2000; Jönsson, 2000; Tanacan, 2002; Anderson ve diğ, 2002; EBN, 2002; Vigon ve diğ, 2005). Kohler ve Moffat’a göre ise YDD tüme dayalı çevresel değerlendirme için en uygun yöntemdir (Kohler ve Moffatt, 2003). YDD yöntemi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan kaynak tüketimini engellemek ve çevresel etkileri ortaya koymak için yapım sektöründe sürdürülebilirliğin geliştirilmesinde de kullanılmaktadır (Ortiz ve diğ, 2009).

YDD yöntemi ISO 14040 standardına göre dört evreden oluşmaktadır. Bunlar, amaç ve kapsamın tanımlanması; yaşam döngüsü envanter analizi (YDE); yaşam döngüsü

etki değerlendirmesi (YDED) ve yorumlama (YDY) evreleridir. YDED evresi, envanter analizi ile elde edilen çevresel etkilerin değerlendirilmesi için kullanılan, YDD yönteminin üçüncü evresidir. Bir ürünün yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerinin büyüklük ve önemini anlamayı, değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Zorunlu ve zorunlu olmayan adımlardan oluşmaktadır. Çevresel etki kategorilerinin, tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesi, envanter sonuçlarının düzenlenmesi (sınıflandırma) ve kategori gösterge sonuçlarının hesaplanması (tanımlama) zorunlu; normalizasyon, ağırlıklandırma ve gruplandırma ise zorunlu olmayan adımlardır (ISO 14040, 2006).

1.1 Problemin Belirlenmesi

Yapı malzemelerinin yaşam döngüsünün her evresinde çevreye zarar veren önemli etkileri vardır. Worldwatch Enstitüsü'ne göre yapı üretimi, küresel olarak kullanılan işlenmemiş taş, çakıl ve kumun %40'ını, ahşabın %25'ini tüketmektedir. Ayrıca yapılar, dünyada yıllık tüketilen enerjinin %40'ından ve suyun %16'sından sorumludur (Roodman ve Lenssen, 1995). Dünyada yeni ve yenilenmiş yapıların %30'unda sağlıksız yapı içi havası bulunmaktadır. Olumsuz evresel etkiler yapı üretimi ve yenilenme nedeni ile artmaktadır. Örneğin; hammaddenin elde edilmesi doğal kaynakların tüketilmesine ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olabilmektedir. Yapı malzemesi üretimi ve ulaşımında enerji harcanmakta ve bu sırada küresel ısınma, asit yağmuru ve kirli sis oluşmaktadır. Düşük yapı içi hava kalitesi, çalışanların verimliliğini düşürebilmekte ve insan sağlığını etkileyebilmektedir. evre etkisi en az olan yapı malzemesinin seçimi, bu olumsuz çevresel etkilerin azaltılması için bir yoldur (Lippiatt, 2002).

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi yönteminin, ürün veya süreçlerin çevresel etki değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, evrelerinde hala belirsizliklerin olduğu belirtilmektedir. Buna göre en az belirsizlik veri çözümlleme evresindeyken, kapsamın tanımlanması, yorumlama ve etki değerlendirme evreleri yöntemin en zayıf evreleridir (Junnila, 2004). Etki Değerlendirmesi (YDED) evresi, çevresel etkilerin nicel olarak hesaplandığı, bu etkilerin önem derecelerinin belirlendiği evredir.

YDED evresinde yerel faktörler etkili olmaktadır. Bu nedenle özellikle gelişmiş ülkelerde 1990'lı yılların başından itibaren farklı YDED modelleri geliştirilmektedir.

Seçilen bu modellere bağlı olarak, farklı çevresel performans değerleri elde edilmektedir (Bengston, 2010). Mevcut YDED modelleri incelendiğinde;

- Esas alınan yaklaşım modeli;
- Çevresel etki kategorilerinin nicelik ve türü;
- Tanımlama modelleri ve kategori göstergeleri;
- Normalleştirme referans değeri;
- Ağırlıklandırma yöntemleri ve katsayıları;

açılarından farklılıklar olduğu görülmektedir.

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği'nin raporuna göre; yapı malzemesi sektörü doğal kaynak tüketimi, yüksek düzeyde yakıt ve elektrik tüketimine bağlı sera gazı salımı, inşaat malzemesi üretimi, inşaatın yapımı ve yıkımı sırasında ortaya çıkan atıklar düşünüldüğünde, evre ve iklim değişikliği üzerinde en fazla etkisi bulunan sektörler arasında yer almaktadır. Bu rapora göre; Türkiye % 1.3'lk payı ile dünya sera gazı salım oranları sıralamasında 254 ülke içinde 13. sırada yer almaktadır (TOBB, 2011). Türkiye, petrolün % 90'a yakın bir kısmını, doğalgazının % 97'sini ve kullanılan kömürün % 20'sini dışarıdan satın almaktadır ve enerji konusunda dışa bağımlıdır. Birim retim başına harcanan birim enerji miktarları kıyaslandığında kullanılan enerjinin birçok ülke ortalamasının altında verimsiz kullanılması, yapı malzemesi sektörü için önemli bir dezavantaja sebep olmaktadır (ENVER, 2010). Atık, su tüketimi, salım kaynaklı çevresel konuların yanı sıra sadece enerji konusu bile Türkiye için bu çalışmanın yapılma gerekliliğini ortaya koymaktadır. Türkiye'de ISO standartlarına göre YDED evresinin zorunlu adımlarını tam anlamıyla kapsayan bir çalışma bulunmamaktadır. Mevcut çalışmalarda çoğunlukla envanter analizine odaklanılmakta ya da YDED evresi için Athena ve Gabi gibi diğer ülkelerin verilerini içeren YDD programları kullanılmaktadır. Bunun sonucunda Türkiye'ye özgü sonuçlar elde edilememektedir.

- Dünyada ve Türkiye'de giderek artan evre sorunları ve yapı malzemesi sektörünün evre üzerindeki etkisi;
- YDED evresinin ISO 14040 standardında belirtilen zorunlu ve zorunlu olmayan adımlarındaki belirsizlikler;

- Yerel faktörlerin YDED evresi için önemi;
- Mevcut YDED modellerindeki farklılıklar;
- Türkiye’de bu konuda çalışmaların yetersizliği ve yerel verileri dikkate alan bir YDED modelinin bulunmaması

gibi nedenlerle bu çalışmada, Türkiye’de üretilen yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik olarak bir YDED modelinin önerilmesine karar verilmiştir.

1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar

1990’ların başında, Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED) çalışmaları ürünleri sınıflandırmadan tarımsal, kimyasal, elektronik ve gıda gibi tüm ürün sınıflarının değerlendirilmesine yönelik olarak yapılmaktadır. Yapı malzemelerinin YDED’ne yönelik olarak yapılmış çalışmaların 1990’ların sonlarında başladığı görülmektedir. Bu bölümde YDED ile ilgili yapılan çalışmalar, tüm ürün sınıflarının çevresel etki değerlendirmesine yönelik olarak yapılmış olan YDED çalışmaları ve yapı malzemelerinin YDED’ne yönelik olarak yapılmış çalışmalar olarak iki ayrı başlık altında verilmektedir.

1.2.1 Tüm ürün sınıflarının çevresel etki değerlendirmesine yönelik olarak yapılmış olan YDED çalışmaları

YDED ile ilgili oluşturulan ilk modeller;

- Çevresel Öncelik Stratejileri (EPS)- 1989
- Ekolojik az bulunurluk (Eco-scarcity)– 1990
- CML- 1992’dir.

Özellikle Avrupa için geliştirilmiş olan bir YDED çalışmasında; abiyotik ve biyotik kaynakların tüketilmesi, sera gazı etkisi, ozon tabakasının incilmesi, insan zehirlenmesi, ekolojik zehirlilik, asitleşme, fotokimyasal sis oluşumu ve koku gibi çevresel etki kategorileri seçilmiştir (Heijungs ve diğ, 1992). 1990’ların ortalarında çoğu YDD çalışmasında, bu çalışmanın verileri kullanılmış ya da sadece envanter analizi sonuçları sunulmuştur (Bare, 2009).

YDD'nin gelişmesi için çalışan ilk uluslararası kurum olan Çevresel Zehirlenme ve Kimya Derneği'nin (SETAC) ilk katkısı, SETAC- Avrupa Bölümü'nün yayınladığı “Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi için Bir Yöntem” çalışmasıdır (Udo de Haes 1996). 1997'de, SETAC- Kuzey Amerika Bölümü'nün “Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi: Gelişme Durumu” başlıklı (Barthouse ve diğ, 1997) çalışmaları yayınlanmıştır. 2002'de, SETAC- Avrupa ve Kuzey Amerika Bölümü'nün birlikte çalışmasıyla da “Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi: En İyi Uygulama Çabası” başlıklı çalışma yayınlanmıştır (Udo de Haes ve diğ, 2002).

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesinde farklı modellerin kullanılması, YDED'nin uygulanmasında karışıklıklara ve farklı çevresel sonuçların elde edilmesine neden olmuştur. Çevre ile ilgili çalışmaların gelişmesi ve bir dil birliği gereksinimi sonucu, 1997'de Çevre Yönetim Sistemleri- ISO 14000 Standartları oluşturulmuştur. ISO 14040 Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme standardı; ürünlerin hammaddelerinin elde edilmesi, üretilmesi, kullanılması ve kullanımının sona ermesinden sonra geri dönüşümü ya da yok edilmesi gibi süreçleri içine alan bir döngü boyunca oluşturulmuş ve olası çevre etkilerinin değerlendirildiği çevre yönetim tekniklerinden birisini sunmaktadır. ISO 14040 standardı serisinin içinde YDED'ne yönelik; ISO 14042: Çevre Yönetimi- Hayat Boyu Değerlendirme- Hayat Boyu Etki Değerlendirmesi ve ISO 14047: Çevre Yönetimi- Hayat Boyu Etki Değerlendirmesi- ISO 14042 standardının uygulama örnekleri yer almaktadır (ISO 14042, 2000; ISO 14047, 2003). 2006 yılında ISO, YDD standartlarının ikinci baskısını yayınlamıştır.

- ISO 14040; Çevresel Yönetim- Hayat Boyu Değerlendirme Prensipleri ve Çerçevesi,
- ISO 14044; Çevresel Yönetim- Hayat Boyu Değerlendirme Gereksinimleri ve Kılavuzları standartları

daha önceki YDD standartlarını iptal ederek onların yerini almıştır. Bu düzeltme ile özündeki teknik içerik aynı kalırken hatalar ve uyumsuzluklar ortadan kaldırılarak standartların anlaşılabilirliği geliştirilmiştir.

1990'ların sonlarından itibaren gelişmiş ülkelerde YDED'ne yönelik çalışmalar artmıştır. Ülkeler kendi çevresel durumunu ortaya koyan YDED modelleri geliştirmiştir. Bazı ülkelerde farklı yaklaşımları esas alan birden fazla YDED

modelleri geliştirilmiştir. Örneğin Hollanda da orta nokta yaklaşım modeli (MEEup), son nokta yaklaşım modeli (Eco-Indicator 99) ve her iki yaklaşımı birleştiren model (Recipe) olmak üzere üç farklı YDED modeli geliştirilmiştir. Farklı ülkeler tarafından geliştirilen YDED modellerinden bazıları geliştirildikleri yıl sırasına göre aşağıda gösterilmiştir.

- Ecoscarcy ya da Ecological scarcity (İsviçre) (Ahbe ve diğ, 1990; Müller-Wenk, 1994; Brand ve diğ, 1998; Frischknecht, 2006a, b);
- EDIP (Danimarka) (Wenzel ve diğ, 1997; Hauschild ve Wenzel, 1998; Hauschild ve Potting, 2005);
- TRACI (Amerika) (Hertwich ve diğ, 1997; Hertwich ve diğ, 1998; Hertwich ve diğ, 1999; Hertwich ve diğ, 2001; Norris, 2002; Bare, 2002; Bare ve diğ, 2003);
- Eco-Indicator 99 (Hollanda) (Goedkoop ve Spriensma, 2000);
- LIME (Japonya) (Hayashi ve diğ, 2000; Itsubo ve diğ, 2004; Hayashi ve diğ, 2004; Hayashi ve diğ, 2006);
- Impact 2002 (İsviçre) (Crettaz ve diğ, 2002; Jolliet ve diğ, 2004; Payet, 2004; Pennington ve diğ, 2005; Pennington ve diğ, 2006; Rosenbaum, 2006; Rosenbaum ve diğ, 2007);
- Recipe (Hollanda) (Huijbregts ve diğ, 2005a,b; De Schryver ve diğ, 2007; Struijs ve diğ, 2007; Van Zelm ve diğ, 2007 a- d; Wegener Sleeswijk ve diğ, 2008);
- MEEup (Hollanda) (Kemna ve diğ, 2005);
- LUCAS (Kanada) (Toffoletto ve diğ, 2007).

Bu modellerin çoğu geliştirilen çevresel çalışmalarla birlikte güncellenmiştir.

1.2.2 Yapı malzemelerinin çevresel etki değerlendirmesine yönelik olarak yapılmış olan YDED çalışmaları

Bir yapı malzemesi için çevresel etki değerlendirmesinde en doğru bulgular; malzemenin hammaddesinin çıkarıldığı, malzemenin o bölgedeki teknolojiye göre üretildiği, yapım sırasında yapıya uygulandığı, kullanıldığı ve yok edildiği ya da geri

dönüştürüldüğü yerlerdeki bölgeye özgü verilerin kullanılmasıyla elde edilmektedir. Bu nedenle, bazı ülkeler yapı malzemelerinin çevresel etkilerini kendi çevresel durumlarını da yansıtarak değerlendiren YDD araçları geliştirerek YDED modelleri geliştirmiştir. Bu modellerden bazıları geliştirildikleri yıl sırasına göre aşağıda gösterilmiştir.

- BRE- Environmental Profiles (İngiltere) (Howard ve diğ, 1999);
- BEES (Amerika) (Lippiatt, 2002);
- BEPAS (Çin) (Zhang ve diğ, 2006);
- BELES (Çin) (GU ve diğ, 2007);
- BPIC- ICIP (Avusturalya) (Bengtsson ve Howard, 2010).

Türkiye’de yapı malzemelerinin Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi konusunda sınırlı sayıda çalışmalar bulunmaktadır (Taygun, 2005; Gültekin, 2006; Çakmaklı, 2007; Çamur, 2010). Yapı malzemelerinin YDD’si ile ilgili yapılan çalışmada ISO 14040 standardını esas alan bir YDD modeli önerilmiştir. YDED evresi için yapı malzemelerinin yaşam döngüsü süreçlerinde yaşam döngüsü envanteri analizi için bilgi kartları düzenlenmiş, belirlenecek olan sınır değerlere göre çevresel etkilerin değerlendirilmesi önerilmiştir (Taygun, 2005). Yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik açık uçlu bir modelin önerildiği çalışmada, model duvar kâğıtlarının kullanım evresindeki bakım ve onarımının sebep olduğu çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için kullanılmıştır (Gültekin, 2006). Ankara’daki yenileme projelerinde kullanılan yapı malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirmesini konu alan bir başka çalışmada, yapı malzemeleri ATHENA programı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirilen çevresel etki kategorileri; birincil enerji tüketimi, katı atık miktarı, hava ve su kirlilik düzeyi, küresel ısınma ve doğal kaynak kullanımıdır (Çakmaklı, 2007). Diğer bir çalışma ise yapılarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinden geliştirilmiş polistren (EPS) ile buna alternatif olarak kullanılacak taş yününün “beşikten kapıya” olan süreçte çevresel etkilerinin değerlendirildiği çalışmadır. Çevresel etki değerlendirmelerinde bir YDD aracı olan Gabi kullanılmıştır (Çamur, 2010).

1.3 Tezin Amacı

Yerel faktörler YDED sonuçlarını etkilemektedir. Bu nedenle, bir bölge ya da ülke için farklı YDED modellerinin kullanılması farklı çevresel sonuçlar vermekte, ülkenin kendi çevresel durumunu yansıtan sonuçlar ancak o ülkenin yerel çevresel verilerinin kullanılmasıyla elde edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Türk yapı malzemesi sektörü için yapı malzemelerinin yaşam döngüleri boyunca sebep olduğu çevresel etkilerinin değerlendirildiği ve yerel faktörlerin göz önünde bulundurulduğu bir YDED modelinin oluşturulmasıdır. Bu model ile Türkiye koşullarında üretilen yapı malzemelerinin yerel çevresel performans değerinin elde edilmesi ve söz konusu yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılabilmesi hedeflenmektedir.

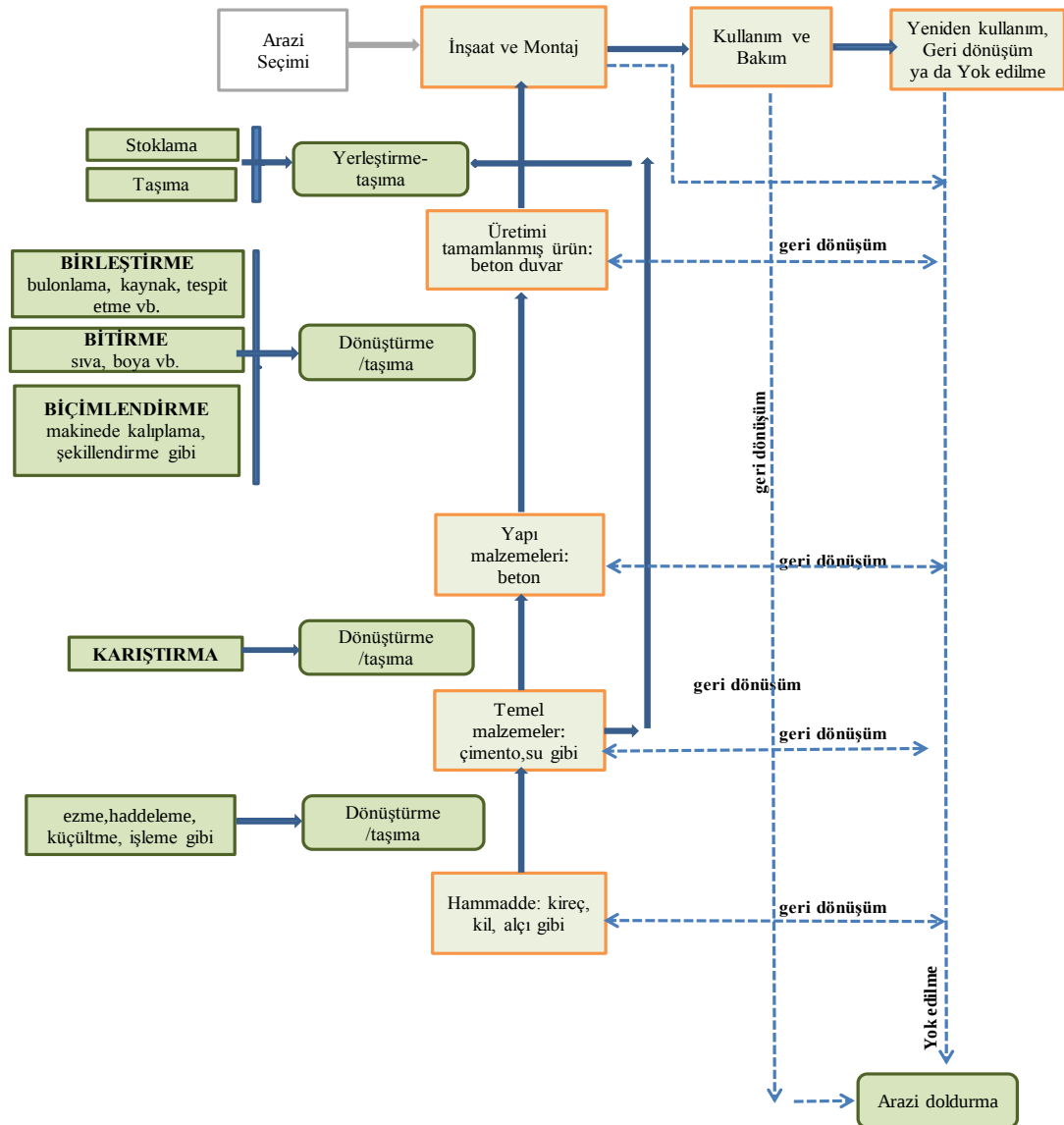
Ayrıca geliştirilmesi hedeflenen YDED modeli için çalışmanın alt amaçları aşağıda belirlenmiştir.

- Türk yapı malzemesi sektörü için önemli çevresel etki kategorilerinin seçilmesi;
- Tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesi;
- Normalleştirme referans değerinin belirlenmesi;
- Seçilen çevresel etki kategorilerinin önem derecelerinin belirlenmesi için ağırlıklandırma katsayılarının hesaplanması;
- Yorumlamanın kolaylaştırılmasını sağlamak için çevresel etki kategorilerinin gruplandırılması;
- Toplam çevresel performans değerinin hesaplanması için bir bağıntının önerilmesi.

Bu model, daha sonra yapılabilecek Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE) çalışması ile birlikte bir Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) aracının oluşturulmasına katkıda bulunabilir. Modelin mimarlar, yapı malzemesi sektörü üreticileri ve kullanıcıları, yapım sektörü çalışanları, araştırmacılar, YDD araç geliştiricileri ve kullanıcıları tarafından kullanılması öngörülmektedir.

1.4 Tezin Kapsamı

Çalışma kapsamında değerlendirilen ürün sistemi yapım sektöründe kullanılan ve Türkiye’de üretilen bütün yapı malzemeleridir. Bu model yapı malzemelerinin hammaddelerinin çıkarılması, üretimi, ulaşımı, yapım ve kullanım aşaması, geri dönüştürülmesini ve yeniden kullanıma dahil edilmesini içeren “beşikten beşiğe” olarak ifade edilen bütün yaşam döngüsü evrelerini ele almaktadır (Şekil 1.1). Yaşam döngüleri sonunda araziye boşaltılan ya da gömülen "beşikten mezara" kullanılan yapı malzemeleri yerine, atık oluşumunu azaltarak malzemelerin devamlılığını sağlayan ve ekosisteme zararı azaltan "beşikten beşiğe" kullanılan yapı malzemeleri bu çalışmanın kapsamı içindedir.



Şekil 1.1 : Yapıların ve yapı malzemelerinin “beşikten beşiğe” yaşam döngüsü.

Türk yapı malzemesi sektörü için Türkiye'nin uygulama yükümlülüğü olan EN 15804 standardı, Türkiye'deki çevresel sorunlar, yapı malzemelerinin sebep olduğu çevresel sorunlar ve mevcut YDED modelleri esas alınarak 11 çevresel etki kategorisi kapsam içine alınmaktadır.

Seçilen çevresel etki kategorileri;

- Küresel ısınma,
- Ozon tabakasının incilmesi,
- Asitleşme,
- Ötrofikasyon,
- Fotokimyasal sis oluşumu,
- İç hava kalitesi,
- Fosil yakıtların tüketilmesi,
- Mineral kaynakların tüketilmesi,
- Su tüketilmesi,
- Atık oluşumu,
- Arazi kullanımıdır.

1.5 Tezin Yöntemi

Tez, Türkiye'ye özgü Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED) modelinin geliştirilmesi amacıyla yapılan kavramsal ve sayısal çalışmalardan oluşmaktadır.

Bu çalışmaya ile ilgili öncelikle literatür araştırması yapılarak:

- Çalışmanın dayalı olduğu temel bilgiler sunulmuş;
- Mevcut YDED modellerinin incelenmesiyle modeller arasındaki farklılıklar ve yerel faktörler belirlenmiş;
- Modelin adımları ve esas aldığı yaklaşım modeli belirlenmiştir.

YDED modelinin adımları, ISO 14040 standardının zorunlu ve zorunlu olmayan adımları esas alınarak belirlenmiştir. Modelde, envanter analizinden gelen verilerin doğrudan küresel ısınma, asitleşme gibi orta nokta etki kategorilerine

sınıflandırılarak çevresel hesaplamaların bu noktalarda yapıldığı ve modeldeki belirsizliklerin son nokta ve her iki yaklaşımı birleştiren modellere göre daha az olduğu orta nokta yaklaşım modeli esas alınmıştır. Bu yaklaşım modeline göre; mevcut YDED modelleri, Türkiye’deki çevresel veriler ve EN15804 standardı göz önünde bulundurularak çevresel etki kategorileri, tanımlama modelleri ve kategori göstergeleri seçilmiştir.

Envanter analizinden gelen verilerin sınıflandırılabilmesi için her bir kategori için sınıflandırılan çevresel veriler belirlenmiş, normalleştirme referans değerinin belirlenmesinde Türkiye’deki çevresel veriler kullanılmıştır.

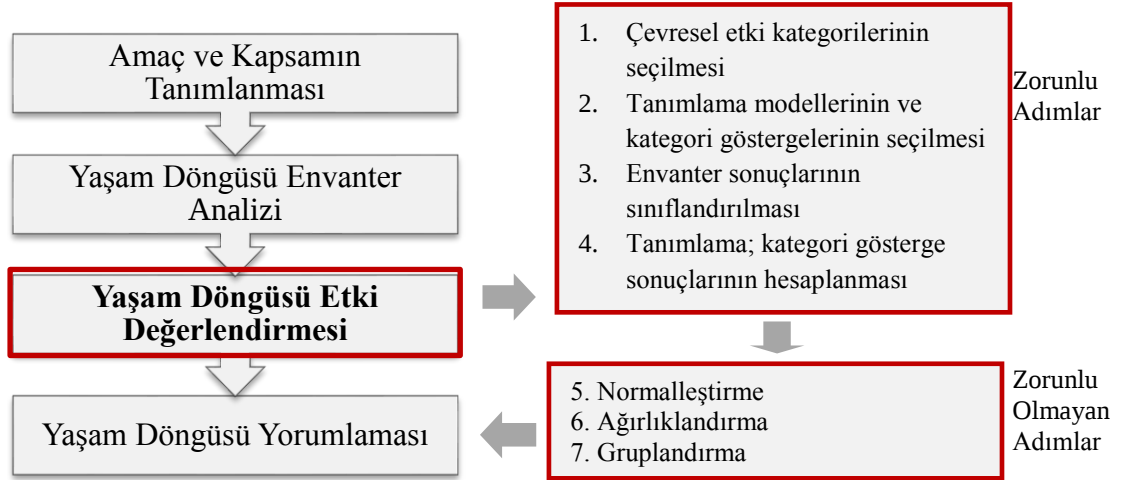
Çevresel etki kategorilerinin önem derecesinin belirlenmesinde ise bir ağırlıklandırma yöntemi olan panel yöntemi esas alınmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemine uygun olarak hazırlanan anket Türkiye’den seçilen çevre uzmanlarına uygulanmıştır. Anket sonuçlarının AHP yöntemine göre analiz edilmesinde “Super Decisions” programı kullanılarak seçilen çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırma katsayıları hesaplanmıştır.

Modelin adımları sonucunda, toplam çevresel performans değerinin hesaplanabilmesi için ISO 14040 (2006) standardında bahsedilen ve Lippiatt’ın yaptığı çalışmada (2007) ifade edilen bağıntı kullanılmıştır. Çevresel etki kategorileri ağırlıklandırma yönteminin sonuçlarına göre derecelendirilmiş ve gruplandırılmıştır. Modelin faydaları, kısıtlamaları ve süreçte karşılaşılan zorluklar açıklanarak model değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada önerilen YDED modeli, genleştirilmiş polistiren köpük (EPS) ile yapılan bir uygulama ile sınanmıştır. Çalışmanın sonuçları, “SimaPro” YDD aracının kullanılmasıyla EPS için elde edilen diğer YDED modellerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yaşam Döngüsü Yorumu EPS üzerinden yapılarak Türkiye için önerilen YDED modeli irdelenmiştir.

2. YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED), yaşam döngüsü envanter analizinden elde edilen sonuçlara göre yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirildiği evredir (Udo de Haes ve Joliet, 1999). ISO 14040 (2006)'a göre zorunlu ve zorunlu olmayan adımlardan oluşan YDED evresinde çevresel etki kategorilerinin, tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesi; envanter sonuçlarının seçilen çevresel etki kategorilerine göre düzenlenmesi (sınıflandırılma) ve tanımlama zorunlu adımlardır. Normalleştirme, ağırlıklandırma ve gruplandırma ise YDD sonuçlarının açıklanmasına yardımcı olabilen zorunlu olmayan adımlardır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi evresinin adımları.

YDED evresinin ilk zorunlu adımı, YDD yönteminin amaç ve kapsamına uygun, çalışılan ürün sistemi ile ilgili çevresel konuları yansıtan çevresel etki kategorilerinin seçilmesidir. Lijing G. ve diğerlerine (2008) göre, envanter analizleri genellikle önce orta nokta çevresel etki kategorilerine, sonra son nokta etki kategorilerine ayrılmaktadır. Uluslararası ortak tanımlanan ve seçilen çevresel etki kategorileri bulunmamaktadır. Etki kategorilerinin seçimi yaygın olarak analiz edilen çevresel etkiler arasından yapılmaktadır. En çok tanımlanan çevresel etki kategorileri; küresel

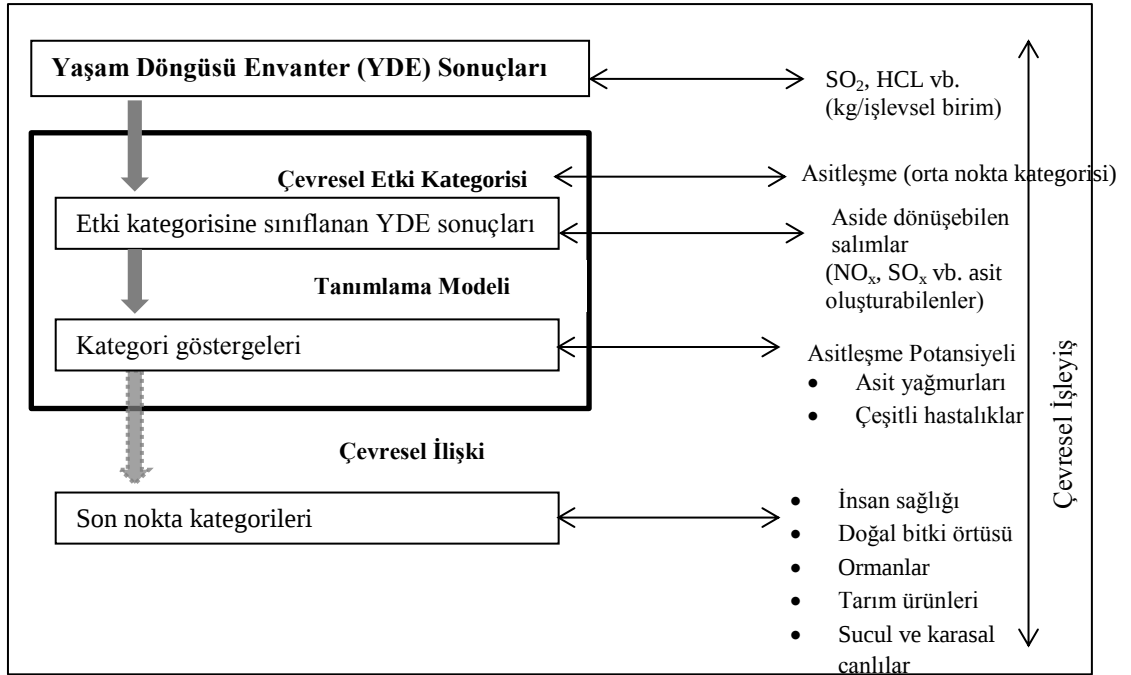
ısınma, asitleşme, ötrofikasyon ve enerji tüketimi olmaktadır. Bunların dışında su tüketimi, hava kirliliği ve ekosistemin kirlenmesi gibi diğer çevresel etki kategorileri de bazı çalışmalarda ele alınmaktadır (Ortiz ve diğ, 2009). ISO 14040'a göre çevresel etki kategorileri kategori göstergelerine ve her bir kategori göstergesi (Cİ, category indicator) de kategori son noktalarına dönüştürülebilir. Kategori göstergeleri etki kategorilerinin sonuçlarını; kategori son noktaları ise korunmaya alınması gereken alanları ifade etmektedir (ISO 14040, 2006).

İkinci adım, belirlenen çevresel etki kategorisi için etki kategorilerinin nicel ifadesi olan tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesidir. Tanımlama modeli, etki kategorisi için fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerdeki çevresel işleyişi yansıtarak envanter sonuçları ile kategori göstergesi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Tanımlama modelinden türetilen dönüştürme katsayısı, her bir çevresel etki kategorisi için envanter analizi sonuçlarını ortak bir birime getirmektedir. Üçüncü adım olan sınıflandırmada, envanter analizindeki salımlar ve tüketilen kaynaklar seçilen çevresel etki kategori ya da kategorilerine göre düzenlenmektedir. Tanımlama adımıda ise her bir çevresel etki kategorisi için, dönüştürme katsayısıyla çarpılarak aynı eşdeğere getirilen salımlar toplanarak kategori gösterge sonuçları hesaplanmaktadır (ISO 14040, 2006). YDED evresinin Çizelge 2.1'de küresel ısınma ve ötrifikasyon için zorunlu adımları örneklendirilmektedir.

Çizelge 2.1: YDED evresinin zorunlu adımlarının küresel ısınma ve ötrifikasyon için örneklendirilmesi.

Çevresel etki kategorisi	Küresel Isınma	Ötrifikasyon
Tanımlama modeli	Hükümetler arası İklim Değişimi Paneli (IPCC) modeli (Forster ve diğ, 2007)	CML modeli (Guinee ve diğ, 2002)
Kategori göstergesi (Category indicator - Cİ)	Küresel ısınma potansiyeli (GWP)	Ötrifikasyon potansiyeli (EP)
Kategori göstergesi referans salımı	CO ₂	PO ₄
Dönüştürme Katsayısı (CF) (çevresel etki kategorisi ile ilgili salımların kategori göstergesi referans salımına dönüştürme katsayısı)	CO ₂ = 1 CH ₄ = 21 N ₂ O = 310 vb.	PO ₄ = 1 NH ₃ = 0.35 P = 3.07 vb.

ISO 14040 (2006)'da asitleşme çevresel etki kategorisi için YDED evresinin zorunlu adımlarını örneklemektedir (Şekil 2.2). Genellikle fosil yakıtlarının yanmasıyla oluşan asit gazlarının hava, su ve toprağa salımı asitleşmeye neden olmaktadır. YDE analizinden elde edilen ve aside dönüşebilen azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), hidroklorik asitler (HCl) gibi salımlar asitleşme etki kategorisi içinde sınıflandırılmaktadır. Tanımlama adımında tüm bu salımlar tanımlama modelinden elde edilen dönüştürme katsayısıyla tek bir eşdeğere dönüştürülmektedir. Asitleşmede genellikle kükürt dioksit (SO₂) veya hidrojen (H⁺) eşdeğeri kategori göstergesi referans salımı olarak kullanılmaktadır. Asitleşmenin kategori göstergesi olarak asitleşme potansiyeli (AP) kullanılmaktadır. Asit yağmurları, toprağın kimyasal yapısını ve biyolojik koşullarını etkilemektedir. Toprağın yapısında bulunan kalsiyum, magnezyum gibi elementleri yıkayarak taban suyuna taşımakta, toprağın zayıflamasına neden olmaktadır. Asitleşmenin çok önemli etkilerinden biri de, endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan asit nemidir. Toprağa ya da göl yataklarına inmiş civa, kadmiyum ya da alüminyum gibi zehirli maddelerle tepkimeye girebilmekte besin zinciri ya da içme suyu yoluyla bitki, hayvan ve insana ulaşarak toksik etkiler yaratmaktadır. ISO 14040 (2006)'da asitleşme son nokta kategorileri insan sağlığı, doğal bitki örtüsü, ormanlar, tarım ürünleri, sucül ve karasal canlılar koruma alanları olarak belirlenmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : YDED evresinin zorunlu adımları, asitleşme örneği (ISO 14040, 2006).

Tanımlama adımı, salımın yayıldığı bölge ya da ülke çevresel etkinin büyüklüğünü değiştirmektedir. Bunda rüzgar hızı, sıcaklık, toprağın yapısı, su derinliği gibi yerel farklılıklar etkili olmaktadır. Bu adımda kullanılan dönüştürme katsayısı ülkelere özgüdür. Bu nedenle aynı miktardaki salım miktarının etkisi bölgelere göre farklı olabilir. Asitleşme, ötrofikasyon ve fotokimyasal sis oluşumu gibi bazı çevresel etki kategorileri için bölgeye özgü dönüştürme katsayıları hesaplanmaktadır (Heijungs ve diğ,1992; Gallego ve diğ, 2010). Bölgeye özgü ya da bölgeye bağlı dönüştürme katsayılarının hesaplanması hala bir gelişim içindedir. Yapıların çevresel etki değerlendirmesinde kullanılan YDD modellerine adapte edilmemiştir (Erlandsson ve Borg, 2003).

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin sonuçlarını anlamayı ve değerlendirmeyi kolaylaştırmak için zorunlu olmayan adımlar kullanılabilir. Bu adımlar; normalleştirme, gruplandırma ve ağırlıklandırmayı kapsamaktadır. Normalleştirmede, her bir çevresel etki kategorisi puanı referans bir değere bölünmektedir. Böylece tüm etki kategorileri birimsizleştirilmektedir. Örneğin mevcut YDED modellerinde, küresel ısınma etki kategorisi karbon dioksit (CO₂) eşdeğeri iken, ozon tabakasının incilmesi kategorisi kloroflorokarbon (CFC11) eşdeğeri ile hesaplanmaktadır. Bir bölge ya da ülke için bir kişinin sebep olduğu çevresel etki değeri “normalleştirme referans değeri” kabul edilerek, tüm kategoriler için kategori gösterge sonuçları bu değere bölünmektedir. Böylece bütün etki kategorilerinin çevresel sonuçları birimsizleştirilmekte, bu da toplam çevresel performans değerinin hesaplanabilmesini ve çevresel etki kategori değerlerinin birbirleriyle karşılaştırılabilmesini sağlamaktadır.

Ağırlıklandırma adımı, çevresel etki kategorilerinin önem dereceleri modelin geliştirildiği alan ya da ülkeye göre belirlenmektedir. Ağırlıklandırma yöntemleri;

- Panel yöntemi,
- Hedefe ulaşma mesafesi yöntemi,
- Ödeme istekliliği yöntemi gibi farklı yaklaşımlara sahiptir (Lijing ve diğ, 2008).

Panel yönteminde çevresel etki kategorilerinin önem derecelerinin belirlenmesi amacıyla, farklı paydaşları temsil eden uzman bir grup oluşturulmaktadır. Brunner yaptığı çalışmada panel yöntemi için önemli dört faktörü sıralamaktadır. Birincisi

panelin seçiminde amaçlanan temsilcilerin kalitesidir. İkincisi kullanılan model ve terimlerin anlaşılır olmasıdır. Üçüncü faktör değerlendirmelerin geri bildirim oranıdır. Son faktör ise seçilen geri bildirimlerdir. Gruplandırılan panelistler sayıca eşit olarak dağılmamış olabilirler (Brunner, 1998). Hedefe ulaşma mesafesi yönteminde ağırlıklandırma katsayıları genellikle politik kararları esas alan hedef değerlerin bir tür fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Ödemeye isteklilik yönteminde ise ağırlıklandırma katsayıları bir etki kategori içinde tahmini ekonomik hasara göre ya da bir hasarı önlemek için gerekli parasal maliyetlerle ifade edilmektedir.

Son olarak gruplandırma adımında, çevresel etki kategorileri sınıflandırılmakta, bazen düşük, orta ve yüksek öncelikli gibi bir hiyerarşiye göre derecelendirilmektedir (Bare ve Gloria, 2005). Gruplamalar iki türde yapılabilmektedir:

- Sınıflandırma (örneğin, çevresel etki kategorileri küresel ölçek ve yerel ölçekte değerlendirilen etki kategorileri ya da insan sağlığına, ekosisteme ve kaynak kullanımına etki eden kategoriler olarak gruplandırılabilir.)
- Sıralama (örneğin, tersine çevrilebilen veya kesinliği olan etki kategorileri, politika öncelikleriyle ilişkili çevresel etki kategorileri gibi derecelendirilebilir.)

Her iki tip gruplandırma yorumlamanın daha iyi yapılması için yardımcı olmaktadır (ISO 14040, 2006) .

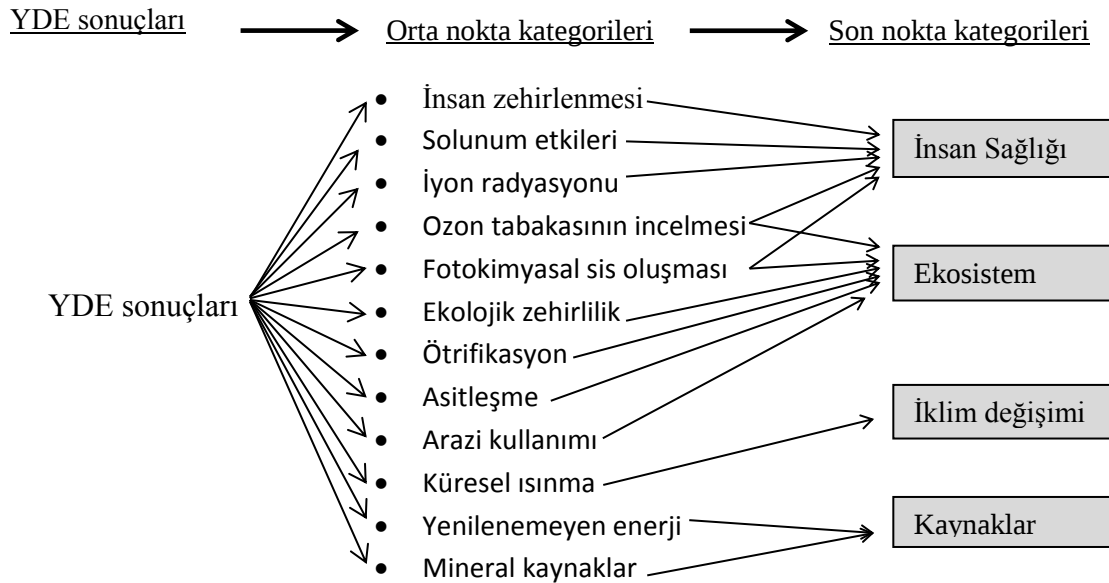
Gelişmiş ülkeler kendi çevresel durumlarını ortaya koymak için yerel faktörleri dikkate alarak YDED modelleri oluşturmaktadır. Aşağıda yaygın olarak kullanılan YDED modelleri, tüm ürün sınıflarının çevresel etkilerini değerlendiren genel YDED modelleri ve yapı malzemelerinin çevresel etkilerini değerlendiren YDED modelleri olarak iki grupta ele alınmaktadır. Yapı malzemelerini ele alan YDED modellerinin birinci grupta incelenen YDED modellerinden yararlandığı görülmektedir.

2.1 Tüm Ürün Sınıflarının Çevresel Etki Değerlendirmesine Yönelik YDED Modelleri

Mevcut YDED modelleri incelendiğinde farklı yaklaşımların olduğu görülmektedir. Bu modeller; “orta nokta yaklaşım modelleri”, “son nokta yaklaşım modelleri” ve

“orta ve son nokta yaklaşımını birleştiren yaklaşım modelleri” olarak üç grupta ele alınmaktadır.

Orta nokta yaklaşımına dayanan modellerde, envanter analizinden elde edilen çevresel veriler; küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon gibi orta nokta etki kategorileri şeklinde sınıflandırılmakta, nicel hesaplamanın yapıldığı tanımlama adımı bu noktalarda yapılmaktadır. Bare ve diğerlerine (2000) göre; orta noktalar, bir etki kategorisine ait sebep-etki (cause-effect chain) zincirindeki (çevresel mekanizma) bağlantılar olarak kabul edilmektedir. Son noktadan önce yer alan bu noktada, salım ve tüketilen kaynakların görece önemi yansıtılmak üzere kategori göstergeleri veya dönüştürme katsayıları türetilmektedir. Bu yaklaşıma “problem odaklı yaklaşım” da denilmektedir. Son nokta yaklaşımında ise dönüştürme katsayıları kaynakların tüketilmesi, insan sağlığına zarar ve ekosistemin zarar görmesi gibi son nokta etki kategorileri için hesaplanmaktadır. Bu yaklaşım “hasar odaklı yaklaşım” olarak ifade edilmektedir (Jolliet ve diğ, 2003), (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : YDE sonuçlarının orta ve son nokta çevresel etki kategorileriyle ilişkisi.

Her iki yaklaşımın avantaj ve dezavantajlarının ortaya konduğu birçok tartışma yapılmaktadır (Reap ve diğ, 2008). Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Çevresel Zehirlenme ve Kimya Derneği (SETAC) tarafından bu iki yaklaşımın avantajlarından faydalanılması önerilmiştir (Jolliet ve diğ, 2004). Son nokta yaklaşımı, çevresel etkileri ekosistem ve insan sağlığı gibi daha büyük bir kapsamda değerlendirdiği için yüksek modelleme ve parametre belirsizliklerine neden

olabilmektedir. Orta nokta yaklaşımı ise daha az modelleme, daha düşük parametre belirsizliklerinden dolayı daha kesin bir yaklaşım olarak ifade edilmektedir (Bare ve diğ, 2000). Lijing Gu ve diğerlerine göre son nokta yaklaşımı çevresel sorunların nihai zararlarını ortaya koymakta ve insanlık için uzun dönemli planların yapılabilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu yöntem ağırlıklandırma adımındaki belirsizlikleri azaltabilmektedir. Çünkü ağırlıklandırılacak çevresel etki kategorisi sayısı orta nokta yaklaşımına göre daha az ve bu kategorilerin anlamları daha açıktır (Lijing ve diğ, 2008).

Her iki yaklaşımı birleştiren YDED modellerinde, her bir orta nokta kategorisi bir ya da bazı son nokta etki kategorileriyle ilişkilendirilmektedir. Bu yaklaşımda nicel sonuçlar hem orta hem de son nokta kategorilerine göre hesaplanmaktadır.

Bu bölümde değerlendirilen genel YDED modelleri, “orta nokta yaklaşım modelleri”, “son nokta yaklaşım modelleri” ve “her iki yaklaşımı birleştiren modeller” olarak ele alınmaktadır. Söz konusu modeller Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2: YDED modellerinin oluşturulduğu ülkeler ve model yaklaşımları.

Ülkeler	AVRUPA				AMERİKA		ASYA
	Hollanda	İsveç	Danimarka	İsviçre	Amerika	Kanada	Japonya
YDED Modelleri	Orta nokta yaklaşım modelleri	CML, MEEup	EPD	EDIP	CED, CExD, Eco-footprint	TRACI	
	Son nokta yaklaşım modelleri	EI99	EPS		Eco-scarcity, EDP		JEPIX
	Orta ve son nokta yaklaş. birleştiren modeller	Recipe			Impact2002	LUCAS	LIME

2.1.1 Orta nokta yaklaşım modelleri

Orta nokta yaklaşım modelleri olarak Hollanda, İsveç, Danimarka, İsviçre ve Amerika’da oluşturulan YDED modelleri, Birleşmiş Milletler ve SETAC tarafından oluşturulan USEtox modeli geliştirildikleri yıl sırasına göre aşağıda incelenmektedir.

2.1.1.1 CML

1992’de Hollanda’da Leiden Üniversitesi Çevre Bilimler Enstitüsü tarafından geliştirilen orta nokta yaklaşım modelidir (Heijung ve diğ, 1992). 2002 ve 2010 yıllarında güncellenmiştir. CML, ele aldığı çevresel etki kategorilerini zorunlu ve zorunlu olmayan etki kategorileri olarak ikiye ayırmaktadır. Zorunlu etki kategorileri; abiyotik kaynakların tüketimi, arazi kullanımı, iklim değişimi, ozon tabakasının incelmesi, insan zehirlenmesi, tatlı su- deniz ve karasal zehirlilik, fotokimyasal sis oluşumu, asitleşme ve ötrofikasyondur. Çalışmanın kapsamı gerektirdiğinde ele alınacak zorunlu olmayan kategoriler ise biyoçeşitlilik kaybı, iyon radyasyonu, gürültü ve biyotik kaynakların tüketimidir. Modelin belirlediği etki kategorilerinin bölgesel geçerliliği, Avrupa değerlerini esas alan asitleşme ve fotokimyasal sis oluşumu hariç küreseldir.

Normalleştirme referans değeri olarak 1997-1998 yıllarındaki toplam çevresel yükü ya da bu yükün kişi başına düşen miktarını ele almaktadır. Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.

2.1.1.2 Ecological Footprint (Ekolojik Ayak İzi)

1994 yılında İsviçre’de Mathis Wackernagel tarafından yazılan bir doktora tezi olarak ortaya çıkmıştır. Modelde beş tür arazi işgali değerlendirilmektedir. Bunlar; tarlalar, meralar, ormanlar, yapılaşma alanları ve hidroelektrik alanlardır. Fosil yakıtlar ve nükleer enerji olmak üzere iki dolaylı arazi işgali değerlendirilmektedir. Bu yedi faktör küresel hektar olarak ifade edilmekte ve yeryüzünde mevcut tüm biyolojik üretken alanlara göre normalleştirilmektedir (Wackernagel, 1994). 2007 yılında güncellenmiştir (Huijbregts ve diğ, 2006).

2.1.1.3 TRACI (Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılmasına Yönelik Araç)

Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından 1996’da geliştirilen bir YDED modeli olup modelin büyük bölümü, Amerika yapım sektörü için hazırlanan BEES YDD modeli tarafından kullanılmaktadır. Ele alınan orta nokta kategorileri; ozon tabakasının incelmesi, küresel ısınma, kirli sis oluşumu, asitleşme, ötrofikasyon, insan sağlığı (kanser, kanser olmayanlar, kirleticiler), ekolojik zehirlilik, fosil yakıt tüketimi, arazi ve su kullanımıdır. Fosil yakıt tüketimi, arazi ve su kullanımı için

bölgeye özgü envanter verileri mevcut değildir. Normalleştirmede her bir kategori için Amerika'nın 1999 yılı kaynak ve salımları referans alınmıştır. Ağırlıklandırma yöntemi önerilmemiştir. 2010 yılında güncellenmiştir.

2.1.1.4 EDIP (Endüstri Ürünlerinin Çevresel Tasarımı)

1997'de Danimarka Teknik Üniversitesi Ürün Geliştirme Enstitüsü tarafından geliştirilmiş bir modeldir. EDIP 2003'de bölgeye özgü dönüştürme katsayıları geliştirilerek yerel faktörler üzerinde durulmuştur. 2010'da güncellenmiştir.

Ele aldığı orta nokta etki kategorileri; küresel ısınma, ozon tabakasının incelmesi, asitleşme, karasal ötrofikasyon, su ötrofikasyonu, fotokimyasal sis oluşumu, insan zehirlenmesi, ekolojik zehirlilik ve gürültüdür. Tüm etki kategorileri için dünyada ve Avrupa'daki bir vatandaşın 1995 yılına ait yıllık çevresel etki değeri normalleştirme katsayısı olarak ele alınmaktadır. Ağırlıklandırmada hedefe ulaşma mesafesi yöntemi kullanılmaktadır.

2.1.1.5 CED (Birikimli Enerji Talebi)

Ecoinvent tarafından 1998'de İsviçre'de geliştirilen model, sadece enerji konusuna odaklanan bir çevresel etki değerlendirme modelidir. Metaller, plastikler, inşaat malzemeleri, cam, kâğıt gibi birçok ürünü kapsayan kaynaklarla ilişkili bir modeldir. CED hammadde ve yardımcı malzemelerin kaynağından çıkarılması, üretilmesi ve yıkımı boyunca enerji tüketimini kapsayan doğrudan ve dolaylı enerji tüketimini ele almaktadır (Hirst, 1974). Kömür, doğalgaz, linyit, ham petrol gibi fosil yakıt enerjisini kapsadığı gibi yaşam döngüsündeki nükleer, biyokütle, su, rüzgâr, güneş enerjisini de kapsamaktadır. Normalleştirme adımı yoktur. Ağırlıklandırmada, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının hepsini 1 olarak ağırlıklandırmaktadır.

2.1.1.6 MEEup (Enerji Kullanan Ürünlerin Değerlendirme Modeli)

2004 yılında Hollanda'da geliştirilen bir modeldir. Değerlendirilen etki kategorileri; enerji tüketimi, su tüketimi, kullanılan malzemeler, atık üretimi, tehlikeli atık üretimi, hava ve suya yayılan salımlardır. Etki kategorileri, ilgili Avrupa Birliği ve uluslararası mevzuat ve anlaşmalara göre nitelendirilmektedir. Normalleştirme ve ağırlıklandırma adımlarını içermemektedir (MeeUp, 2005).

2.1.1.7 CExD (Birikimli Ekserji Talebi)

2007’de İsviçre’de geliştirilen enerji kaynaklarının kalitesini değerlendiren YDED modelidir. Belli bir miktar enerji tarafından yapılabilir faydalı işi ölçmektedir. Bu ölçümler geleneksel olarak kaynakların enerji verimliliğini değerlendirmek için uygulanmaktadır. CED modeline benzer olarak yaşam döngüsü enerji talebini değerlendirmektedir. Ancak, CED birincil enerji kaynaklarının enerji talebini değerlendirir ve enerji kalitesini hesaba katmamaktadır. CExD’in avantajı, enerjinin kalitesini de hesaba katmasıdır. Model, yenilenebilir ve yenilenemeyen farklı enerji kaynaklarını kapsamaktadır. CED’e göre daha kapsamlıdır (Bosch ve diğ., 2007).

2.1.1.8 EPD (Çevresel Ürün Bildirgesi)

2008’de İsveç Çevre Yönetim Konseyinin geliştirdiği model, çevresel ürün bildirgesinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Çevresel etki kategorileri olarak; küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi, ötrofikasyon, asitleşme, fotokimyasal sis oluşumu, fosil yakıtların tüketilmesini ele almaktadır. Normalleştirme ve ağırlıklandırma adımlarını içermemektedir.

2.1.1.9 USEtox

2008’de ekolojik ve insan zehirlenmesi için dönüştürme katsayıları geliştiren bir YDED modelidir (Rosenbaum ve diğ., 2008). SETAC ve UNEP’in “Yaşam Döngüsü Girişim Projesi” çerçevesinde geliştirilmiştir. 2010’da güncellenmiştir. Normalleştirme değerleri Avrupa ve Kuzey Amerika için geliştirilmiştir.

2.1.2 Son nokta yaklaşım modelleri

Son nokta yaklaşım modeli olarak Hollanda, İsveç, İsviçre ve Japonya’da oluşturulan YDED modelleri, Birleşmiş Milletler ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından oluşturulan Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli’nin (IPCC) modeli incelenmektedir.

2.1.2.1 EPS (Çevresel Öncelik Stratejileri)

1989’da İsveç Çevresel Araştırma Enstitüsü, Volvo ve İsveç Sanayi Federasyonu tarafından geliştirilen YDED modelidir. 2010 yılında güncellenmiştir.

EPS modelinde, çevresel etki kategorilerinin seçilmesi için bazı ölçütler oluşturulmuştur. Buna göre; çevresel etki kategorileri insan faaliyetlerinden dolayı oluşan çevresel etkilerin önemli türlerini kapsamalıdır. Etki kategorileri ve kategori göstergeleri meslekten olmayan kişiler için anlaşılabilir ve tüm çevre durumları için ortak olmalıdır (Steen, 1999). EPS modelinde çevresel etki kategorileri dört koruma alanı altında toplanmıştır. Bunlar; insan sağlığı, ekosistem üretim kapasitesi, abiyotik kaynaklar ve biyoçeşitlilik kaybıdır.

Bu modelde normalleştirme kullanılmamaktadır. Ağırlıklandırmada ödemeye isteklilik yöntemi esas alınmaktadır. Etki kategorilerinin bölgesel geçerliliği küreseldir. Sadece biyoçeşitlilik hasar kategorisi İsveç modelini esas almaktadır.

2.1.2.2 Eco Scarcity (Ekolojik Az Bulunurluk)

İlk olarak 1990'da tanıtılan ve 1997'de İsviçre'de yayımlanan bir modeldir (Frischknecht ve diğ, 2006). Son nokta etki kategorileri politik hedeflere göre belirlenmiştir. Bu kategoriler; ozon tabakasının incelmeye, fotokimyasal sis oluşumu, solunum etkileri, hava salımları, yüzey su salımları, radyoaktif salımlar, kanser, yeraltı sularındaki salımlar, toprağa verilen salımlar, toprak dolgulu belediye atıkları, tehlikeli atıklar, radyoaktif atıklar, su tüketimi, çakıl tüketimi, birincil enerji kaynakları ve biyoçeşitlilik kaybıdır.

2006 yılı İsviçre verilerini esas almaktadır. Mevcut kirlilik seviyesi hesaplanmıştır. İsviçre çevresel politik hedeflerini esas alan hedefe ulaşma mesafesi yöntemi kullanılmaktadır. 2013 yılında güncellenmiştir.

2.1.2.3 Eco Indicator 99 (Eko Gösterge 99)

1999 yılında Hollanda Konut, Mekânsal Planlama ve Çevre Bakanlığı tarafından geliştirilmiş bir modeldir. YDD'nin en tartışmalı ve en kritik adımlarından biri olan ağırlıklandırma adımı bu model için bir başlangıç noktası olmuştur. En önemli etki kategorileri için hasar modelleri geliştirilmiştir (Goedkoop ve Spriensma, 2001). Çevresel son nokta etki kategorileri olarak; insan sağlığı, ekosistem ve kaynaklar seçilerek, hasar modelinde salımların toplam miktarının yanı sıra salımların nerede ve ne zaman oluştuğu, çevredeki yoğunlukları ele alınmaktadır.

İnsan sağlığına hasar; solunum, kanserojen etkiler, iklim değişimi etkileri, ozon tabakasının incelmeye ve iyon radyasyonu için geliştirilmiştir. Bu modelde insan

sağlığı için belirlenen hastalıklar “engelli geçen yaşam yılları” (Disability Adjusted Life Years- DALY) birimi ile ifade edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından geliştirilen bu sistemde DALY, engelli geçen yılların sayısı ve kaybedilen yaşam yılı tahminlerini kullanmaktadır. DALY, bir kişinin erken ölmesi nedeni ile kaybetmiş olduğu yıllar ile herhangi bir rahatsızlığı nedeni ile sakat olarak sürdürdüğü yaşam yıllarının birlikte ifade edildiği bir ölçüttür. Nüfustaki erken ölümden dolayı kaybedilen yaşam yıllarının toplamı bulunup, daha sonra sakatlıkla kaybedilen yaşam yılları ile toplanarak hesaplanmaktadır (EI99, 2000).

Ekosistem kalitesine hasar; çevresel yüklerden dolayı belirli bir alanda kaybolan türlerin yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Ekolojik zehirlilik; yaşayan çevre içinde zehirlenme baskısı altındaki tüm türlerin yüzdesidir. Asitleşme ve ötrofikasyon için doğal alanlardaki hedef türlere olan hasar modellenmektedir. Hem işgal edilmiş ya da dönüştürülmüş alandaki yerel hasar hem de ekosistemdeki bölgesel alan dikkate alınmaktadır.

Kaynak çıkarılması kalan mineral ve fosil kaynaklarının kalitesini belirten bir parametre ile ilişkilidir. EI99 modelinde, tüm salım ve arazi kullanımlarının ve sonraki tüm hasarların Avrupa’da olduğu varsayılmaktadır. Kaynak hasarı, iklim değişimi, ozon tabakasının incilmesi kategorileri ise küresel olarak ele alınmaktadır. Avrupa normalleştirme değerleri kullanılmaktadır. Her etki kategorisi için yapılmamış, her alan için yapılmıştır.

Ağırlıklandırmada kullanılacak panel sistemi için iki önemli gereksinim vardır. Birincisi ağırlıklandırılacak konuların sayısının mümkün olduğunca az olmasıdır. İkincisi ise ağırlıklandırılan konuların panelistler için açıklanmasının kolay olmasıdır. Bu gereksinimler doğrultusunda EI99’da panel yöntemi insan sağlığı, ekosistem ve kaynak tüketiminin ağırlıklandırılmasıyla sonuçlanmıştır. Ağırlıklandırma için Thomas Mettier tarafından oluşturulan panel yöntemi uygulanarak İsviçre YDD uzman grup üyelerinden bir panel oluşturulmuştur (Mettier, 1999). Anketler 365 paneliste gönderilmiştir. Sonuçlar analiz edilerek panelistlere rapor halinde geri gönderilmiş; sadece 82 ankete geri dönüş olmuştur. Katılımcılardan bu üç kategoriyi önemine göre sıralamaları ya da eşit değerde önemli olduğunu ifade etmeleri istenmiştir. Anket sonuçlarına göre insan sağlığının ekosistem kalitesinden, ekosistem kalitesinin de kaynak tüketiminden daha önemli olduğu belirtilmiştir.

2.1.2.4 IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli)

IPCC, 2001’de geliştirilen Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından kurulmuş sadece iklim değişimine odaklanan bir etki değerlendirme modelidir. 2007’de revize edilmiştir. İklim değişimini anlamak için dünya çapındaki güncel bilimsel, teknik ve sosyo- ekonomik bilgiler değerlendirilmektedir. İklim değişimi küresel ısınma potansiyeli ile 20, 100 ve 500 yıllık zaman dilimi içerisinde tanımlanmaktadır (Solomon ve diğ., 2007).

2.1.2.5 EDP (Ekosistem Hasar Potansiyeli)

2002’de İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilen bu model, özel etki kategorilerini değerlendiren bir YDED modelidir. Arazi işgali, arazi dönüşümü ve biyoçeşitlilik kaybı için dönüştürme katsayıları geliştirilmiştir (Koellner ve Scholz, 2007).

2.1.2.6 Jepix (Japonya çevresel politik öncelikler göstergesi)

Japonya Çevre Bakanlığı; Ekonomi, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı; Eğitim ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 2003’de geliştirilen İsviçre eko- kıtlık yöntemini esas alarak politik hedeflerini Japonya politik ve çevresel durumuna uyarlayan bir modeldir. 2010’da revize edilmiştir.

Ele alınan orta nokta çevresel etki kategorileri; ozon tabakasının incelmesi, fotokimyasal sis oluşumu, hava salımları, yüzey suları salımları, radyoaktif salımlar, kanser, deniz- yer altı suyu ve toprağa yayılan salımlar, toprak dolgulu belediye atıkları, tehlikeli atıklar, radyoaktif atıklar, su tüketimi, çakıl tüketimi, birincil enerji kaynakları, biyoçeşitlilik kaybıdır. Son nokta etki kategorileri ise insan sağlığı, ekosistem ve kaynaklardır. Ozon tabakasının incelmesi, kaynaklar gibi küresel etkiler hariç Japonya’ya özgü bir modeldir (JEPIX, 2011).

Normalleştirme değeri olarak mevcut kirlilik seviyesini esas almaktadır. Ağırlıklandırmada Japonya çevresel politik hedeflerini esas alan hedefe ulaşma mesafesi yöntemi kullanılmaktadır.

2.1.3 Orta ve son nokta yaklaşımlarını birleştiren yaklaşım modelleri

Hollanda, İsviçre, Kanada ve Japonya’da oluşturulan orta ve son nokta yaklaşımlarını birleştiren modeller incelenmektedir.

2.1.3.1 Impact 2002+

İsviçre’de 2003’de dört modelin birleşiminden geliştirilmiştir. Bunlar, Impact 2002+ (Pennington ve diğ, 2004), EI99 (Goedkoop ve Spriensma, 2001) CML (CML, 1992), ve IPCC’dir. Daha çok EI99’u esas almaktadır. 2012’de revize edilmiştir. Impact2002+, envanter sonuçları ile ilişki kuran 14 orta nokta kategorisi ve 4 son nokta kategorisini ele alan bir modeli önermektedir. Orta nokta etki kategorileri; insan zehirlenmesi, solunum etkileri, iyon radyasyonu, ozon tabakasının incelməsi, fotokimyasal sis oluşumu, sudaki zehirlenme, karasal zehirlilik, sudaki asitleşme ve ötrofikasyon, karasal asitleşme ve ötrofikasyon, arazi işgali, küresel ısınma, yenilenemeyen enerji tüketimi ve minerallerin çıkarılmasıdır. Tüm orta nokta kategorileri insan sağlığı, ekosistem kalitesi, iklim değişimi ve kaynaklar olarak dört son nokta kategorisi ile ilişkilendirilmektedir.

Normalleştirme hem orta nokta hem de son nokta kategorileri için uygulanabilmektedir. Bu model, orta nokta dönüştürme katsayıları, hasar faktörleri, normalleştirilmiş orta nokta tanımlama ve normalleştirilmiş hasar faktörlerini sağlamaktadır (Jollietve diğ, 2003). Normalleştirmede tüm etki kategorileri için bir Avrupa vatandaşının 2000 yılındaki çevresel etki değeri esas alınmaktadır. Modelde dört hasar kategorisinin ayrı olarak değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu modelde özel bir ağırlıklandırma yöntemi geliştirilmemiştir (Humbert ve diğ, 2005).

2.1.3.2 LIME

Japonya’da beş yıllık bir çalışmadan sonra 2003’de tamamlanan, İleri Endüstriyel Bilim ve Teknoloji Ulusal Enstitüsü (AIST) tarafından geliştirilen bir YDED modelidir. Ele alınan orta nokta kategorileri; kentsel hava kirliliği, küresel ısınma, ozon tabakasının incelməsi, insan zehirlenmesi, ekolojik zehirlilik, asitleşme, ötrofikasyon, fotokimyasal sis oluşumu, arazi kullanımı, minerallerin tüketimi, enerji tüketimi, iç hava kalitesi, gürültü ve atıktır. Son nokta kategorileri olarak ısısal stres, sıtma hastalığı, bulaşıcı hastalıklar, açlık, doğal afetler, katarakt, deri ve diğer kanserler, solunum rahatsızlıkları, karasal biyoçeşitlilik, su ile ilgili biyoçeşitlilik, balıkçılık, ürünler, malzemeler, mineral kaynaklar, enerji kaynakları ele alınmaktadır. Bunlar dört koruma alanı altında toplanmaktadır. Bunlar insan sağlığı, sosyal refah, biyoçeşitlilik ve birincil üretimdir (Itsubo ve Inaba, 2003).

Son nokta etki kategorileri tek bir birim olarak Yen para birimine çevrildiği için normalleştirmeye ihtiyaç duyulmamıştır.

2.1.3.3 LUCAS (Kanada'ya Özgü YDED Modeli)

Bu model 2005'de Kanada'da geliştirilmiştir. EDIP 2003, Impact2002+ ve TRACI gibi modellerin tanımlama modelleri kullanılarak Kanada'ya özgü bir etki değerlendirme modeli geliştirilmiştir.

İklim değişimi ve ozon tabakasının incelenmesi küresel, diğer etki kategorileri bölgesel ölçekte değerlendirilmiştir. Orta nokta kategorileri olarak; iklim değişimi, ozon tabakasının incelenmesi, asitleşme, fotokimyasal sis oluşumu, solunum etkileri, deniz ötrofikasyonu, karasal ötrofikasyon, ekolojik zehirlilik, insan zehirlenmesi, arazi kullanımı ve abiyotik kaynak tüketimi ele alınmaktadır (Toffoletto ve diğ, 2007).

Her bir çevresel etki kategorisi için Kanada'da kişi başına düşen toplam salım miktarı normalleştirme değeri olarak kullanılmıştır. Ağırlıklandırma adımı bulunmamaktadır (Toffoletto ve diğ, 2007).

2.1.3.4 RECIPE

2008'de Hollanda'da RIVM, CML, PRE danışmanlığı, Radboud Nijmegen Üniversitesi ve CE Delft tarafından oluşturulmuştur. Orta nokta yaklaşımını esas alan CML 2002 ve son nokta yaklaşımını esas alan EI99 modellerini kullanmaktadır (Recipe, 2011).

Ele alınan orta nokta etki kategorileri; iklim değişimi, ozon tabakasının incelenmesi, insan zehirlenmesi, fotokimyasal sis oluşumu, partikül madde oluşumu, iyon radyasyonu, karasal asitleşme, tatlı su ve deniz ötrofikasyonu, karasal ve tatlı su zehirliliği, deniz zehirliliği, tarım alanı ve kentsel alan işgali, doğal arazi dönüşümü, tatlı su kaynaklarının tüketimi, mineral ve fosil yakıt kaynaklarının tüketilmesidir. Modelin bölgesel geçerliliği Avrupa'dır.

Ele alınan son nokta çevresel etki kategorileri; insan sağlığı, ekosistem ve kaynaklardır. İklim değişimi, ozon tabakasının incelenmesi, insan zehirlenmesi, fotokimyasal sis oluşumu, parçacık madde oluşumu ve iyon radyasyonu insan sağlığı kategorisi altında değerlendirilmektedir. İklim değişimi, karasal asitleşme, tatlı su ötrofikasyonu, karasal zehirlilik, tatlı su zehirliliği, deniz suyu zehirliliği, tarım alanı işgali, kentsel alan işgali, doğal arazi dönüşümü ekosistem kategorisi altında

değerlendirilmektedir. Metallerin ve fosil yakıtlarının tüketilmesi de kaynak kullanımı kategorisinde değerlendirilmektedir.

Bu modelde insan sağlığı DALY olarak ifade edilmektedir. 1998’de Hofstetter (Hofstetter, 1998) YDD içindeki DALY kavramını, Murray ve Lopez’in Dünya Sağlık Örgütü (WHO) için yaptığı çalışmaları esas alarak ifade etmektedir (Goedkoop ve Spriensma, 2001; Frischknecht ve diğ, 2007). Recipe’de belirli bir alan içinde belirli bir zaman boyunca türlerin kaybı modellenmektedir. Tüm türleri incelemek mümkün değildir. Bu nedenle bu modelde tüm ekosistem kalitesini sunan uygun tür grupları seçilmiştir. Seçimde türlerin tam ve geri dönüşümsüz olarak tükenmesi ve bir türün geri dönüşümlü ya da geri dönüşümsüz yok olması ya da belirli bir zaman boyunca belirli bir alan içinde bir tür üzerindeki stres ele alınmaktadır (Recipe, 2011).

Kaynak kullanımında artan fiyatlar esas alınmaktadır. Birimi dolardır. Fosil kaynaklar ve minerallerin jeolojik dağılımı üzerine bir model oluşturulmuştur. EI99 modelinde Müller Wenk’in modeline benzemeyerek, Recipe uzak gelecekteki artan enerji gereksinimini değerlendirmez. Modelde, kaynakların çıkarılmasından dolayı fiyatlardaki sıra dışı artışları esas almaktadır (Recipe, 2011). Bu son nokta kategorilerinin Avrupa ve dünya için hesaplanan 2000 yılı normalleştirme değerleri belirtilmektedir.

Bu modelde, orta nokta etki kategorileri için tahmini ekonomik hasarı önlemek için gerekli parasal maliyete göre ağırlıklandırılan ödeme istekliliği yöntemi, son nokta etki kategorileri için uzman grup üyelerinden oluşan panel yöntemi kullanılmıştır.

2.2 Yapı Malzemelerinin Çevresel Etkilerini Değerlendiren YDD Araçlarındaki YDED Modelleri

Yapı 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 ve performansları kadar çevresel etkilerinin de bilinmesi gerekmektedir. Yapı malzemelerinin tasarımından yok edilişine kadar olan süreçte alınan kararlar, nakliye aracı, kullanılan teknoloji, işçilik, yasal düzenlemeler, kullanım alışkanlıkları, sektör rekabeti ve 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 (Toffoletto ve diğ, 2007).

Bu bölümde, yapı ve yapı malzemelerinin YDED'sini esas alan Amerikan modeli BEES, İngiltere'nin modeli BRE-Environmental Profiles, Avustralya'nın modeli BPIC/ ICIP projesi, Çin'in modelleri olan BELES ve BEPAS, Kanada'nın YDED modeli ATHENA Impact Estimator (AthenaIE) değerlendirilmektedir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3: Yapı malzemelerini esas alan YDD araçlarındaki YDED modellerinin oluşturulduğu ülkeler ve model yaklaşımları.

Ülkeler		İngiltere	Amerika	Kanada	Avustralya	Çin
YDED Modelleri	Orta nokta yaklaşım modelleri	BRE-EP	BEES	AthenaIA	BPIC-ICIP	BEPAS
	Son nokta yaklaşım modelleri					BELES

2.2.1 BEES (Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik)

ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), Sağlıklı ve Sürdürülebilir Yapılar Programı, 1994 yılında BEES (Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik) projesini başlatmıştır. BEES'in amacı; çevresel ve ekonomik performansları en uygun dengeye sahip yapı malzemelerini seçmek için bir sistematik model geliştirmek ve yürütmektir. Standartlara dayalı model; pratik, esnek, çok renkli grafiklerle anlaşılması kolay ve karşılaştırmalı sonuçlar çıkarabilen şekilde tasarlanmıştır. BEES modeli, bazı yapı malzemeleri için güncel çevresel ve ekonomik bilgiler ile bütünleşmiş herkese açık, elde edilebilir bir karar destek yazılımı ile yürütülmektedir (Hittinger, 2001; Curran ve diğ, 2002; Hoffstetter ve diğ, 2002; Norris ve diğ, 2002).

BEES modeli, yapı malzemelerinin yaşam döngüsü evrelerini “beşikten mezara” ele almaktadır. Malzemelerin çevresel performansını, ISO 14040 standardı doğrultusunda YDD yaklaşımıyla, ekonomik performansını da ASTM (Amerikan Test Etme ve Ürünler Topluluğu) standartlarından Yaşam Döngüsü Maliyeti yaklaşımı ile ölçmektedir. Bu iki ölçümden sonra toplam çevresel performans

hesaplanmaktadır. Model, etkilerin değerlendirilmesinde SETAC tarafından geliştirilen çevresel problemler yaklaşımını kullanmakta ve yapı malzemesinin ömrünü 50 yıl olarak değerlendirmektedir. Orta nokta çevresel etki kategorileri olarak; küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon, fosil yakıt tüketimi, iç hava kalitesi, doğal ortamın değişimi, su tüketimi, hava kirleticileri, insan sağlığı, kirli sis oluşumu, ozon tabakasının incilmesi ve ekolojik zehirliliği ele almaktadır.

Küresel ısınma; fosil yakıtların yanması, çeşitli tarımsal ve endüstriyel uygulamalar sonucu sera gazlarının atmosfere salımıyla dünya iklim sisteminde meydana gelen önemli değişikliklerin sonucu oluşmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla atmosfer ve okyanuslardaki sıcaklıklar değişebilmekte, okyanuslardaki ısı genleşme ve kutuptaki buz tabakalarının erimesiyle deniz seviyesinde artışlar belirmektedir. Kategori göstergesi olarak bu artışları ölçmek için küresel ısınma potansiyeli (GWP) kullanılmaktadır. Tanımlama modeli olarak IPCC (Hükümetler arası İklim Değişimi Paneli)'nin 100 yıllık modeli (IPCC, 2007) kullanılmaktadır. Modelde tüm sera gazları kategori göstergesi referans salımı olarak seçilen karbon dioksit (CO₂) eşdeğeri ile ifade edilmektedir (Lippiatt, 2007).

Asitleşme, genellikle fosil yakıtların yanmasıyla oluşan asit gazlarının hava, su ve toprağa salımıyla oluşmakta, protonların yeryüzü ya da su ekosistemine serbest kalmasından kaynaklanmaktadır. Modelde kategori göstergesi olarak asitleşme potansiyeli (AP) kullanılmaktadır. Bu kategori için asitleşme kategorisindeki tüm salımlar kategori göstergesi referans salımı olarak seçilen hidrojen (H⁺) eşdeğeri ile ifade edilmektedir (Lippiatt, 2007).

Toprak ya da sudaki azot ve fosfat artışıyla ilgili olan ötrofikasyon için kategori göstergesi olarak ötrofikasyon potansiyeli (EP) kullanılmaktadır. Ötrofikasyon, ekosistem içindeki türlerin sayısında istenmeyen değişimlere ve ekolojik çeşitlilikte azalmaya neden olmaktadır. Su içinde oksijen eksikliğine neden olabilen ve bu yüzden balık gibi türlerin ölümüne neden olan yosunlar artma eğilimindedir. İkincil etkiler ise organik malzemelerin ayrışmasıdır. Organik malzemelerin ayrışması oksijen tüketen bir işlemdir ve oksijen doygunluğunda azalmaya neden olmaktadır. BEES modelinde azot (N) kategori göstergesi referans salımı olarak kullanılmaktadır (Lippiatt, 2007).

Kirli sis potansiyeli; atmosferdeki azot oksitler (NO_x) ve uçucu organik bileşikler güneş ışığının etkisiyle fotokimyasal sisi oluşturmaktadır. NO_x'in varlığı ozon

üretimini sınırlasa da, uçucu organik bileşiklerin reaksiyonu sadece ozonun üretildiği oranı değil çevresel durumu da belirlemektedir. Çeşitli uçucu organik bileşiklerin ozon üretim potansiyelini hesaplamak için kullanılan bir yöntem artan reaksiyon (IR) ölçeğini esas almaktadır. Bu ölçek uçucu organik bileşikler için faktörler oluşturmaktadır. Bu faktör; salımlardaki bileşiklerin küçük bir miktar artırılmasıyla ozonda meydana gelen değişimin eklenen miktara bölünmesiyle elde edilmektedir. Sonuç faktör genellikle uçucu organik bileşiklerin gram başına oluşan mol cinsinden ozon olarak ifadesidir. Modelde TRACI için geliştirilen tanımlama modeli kullanılmaktadır. Kirli sis potansiyelinin (SP) kategori göstergesi referans salımı olarak azot oksit (NO_x), kullanılmaktadır (Lippiatt, 2007).

Ozon tabakasının incelenmesi, daha zararlı kısa dalga radyasyonunun yeryüzüne ulaşmasına izin vererek ekosistemde değişikliklerin meydana gelmesine neden olur. Tarımsal üretkenlik üzerinde de olumsuz etkiler yapabilmektedir. İnsanlarda bağışıklık sisteminin bastırılmasıyla, deri kanseri oranlarının ve gözde kataraktların artmasına neden olabilmektedir. Diğer problem iklim üzerindeki belirli olmayan etkisidir. BEES, kategori göstergesi olarak ozon tabakasının incelenmesi potansiyelini (ODP); tanımlama modeli olarak Dünya Meteorolojik Örgütü'nün (WMO) modelini esas almakta ve kategori göstergesi referans salımı olarak her bir ürün için fonksiyonel birim başına olan kloroflorokarbon (CFC11)'un gram cinsinden miktarını değerlendirmektedir (Lippiatt, 2007).

BEES, fosil yakıt tüketimi çevresel etki kategorisi için çıkarılan fosil kaynaklarının tüketimini değerlendirmektedir. Tanımlama modeli olarak TRACI modelini esas almaktadır. Fosil kaynaklar çıkarılırken metan gibi yayılan salımların çevresel etkisini küresel ısınma kategorisi altında değerlendirmektedir. Kategori göstergesi referans birimi olarak megajoule (MJ) kullanılmakta; fosil yakıt kaynaklarının bir kilogramı için elde edilen enerji miktarına göre dönüştürme katsayıları hesaplanmaktadır (Lippiatt, 2007).

Çizelge 2.4: BEES için fosil kaynakların dönüştürme katsayıları.

	MJ eşdeğeri (MJ/ kg)
Kömür (topraktan)	0.25
Doğalgaz (topraktan)	7.80
Petrol	6.12

BEES modelinde doğal ortamdaki değişim, insanların tehdit ve tehlike altındaki türlere zarar verdiği arazi kullanım potansiyeli ile ölçülmektedir. Tanımlama modeli olarak TRACI modeli adapte edilmiştir. Bu modele göre, istenmeyen değişikliklere neden olan arazi kullanım potansiyeli için kategori göstergesi referans birimi tehdit ve tehlike altındaki türlerin yoğunluğu (TED)’dur. BEES’de, tüm yaşam döngülerini kapsayan doğal ortam değişimi ile ilgili envanter verileri mevcut değildir. Bu nedenle, bu kategori için kategori göstergesi referans birimi olarak yapı malzemesinin kullanım ve yaşam döngülerinin sonucunda oluşan atıklar değerlendirilmektedir.

Diğer bir çevresel etki kategorisi olan yapı malzemelerinin iç hava kalitesi üzerindeki etkisi önemli bir konudur. BEES, zemin kaplamaları, iç duvar bitişleri, duvar- çatı kaplamaları, duvar- tavan yalıtımları gibi yapı elemanları için iç hava kalitesini ele almaktadır. İncelediği zemin kaplama malzemelerini iki performans açısından değerlendirmektedir. Bunlar toplam uçucu organik bileşik salımları ve malzemelerin tespiti için kullanılan yapıştırıcıların iç havadaki performanslarıdır. Linolyum, vinil kompozit karo ve halıların geleneksel sentetik yapıştırıcı olan stiren- bütadiyen ile tespit edildiğini varsaymaktadır. İç havaya olan etkisini, fonksiyonel birim başına kullanılan stiren- bütadiyen miktarının oranı olarak hesaplamaktadır. Zemin kaplamalarının toplam çevresel performansını değerlendirmek için, her bir ürünün uçucu organik bileşikler salımı ve tespitinde kullanılan yapıştırıcılar için performans verilerini, en kötü performanslı ürün için karşılık gelen performans değerine bölerek normalleştirmektedir.

İç duvar bitişlerinde de uçucu organik bileşik salımları esas alınmaktadır. Duvar ve çatı kaplamalarında kullanılan çoğu ahşap yapı malzemesinin formaldehit salımlarından dolayı iç hava kalitesi önemsenen bir konudur. BEES ahşap malzemeler için formaldehit salımını tek bir gösterge olarak kullanmaktadır. Yalıtım malzemelerinden yayılan liflerin, tehlikeli kimyasal ve parçacıkların insan sağlığını etkilediği göz önünde bulundurulmaktadır.

Su tüketimi çevresel etki kategorisi, YDD çalışmalarında çoğunlukla ele alınmamaktadır. Özellikle su kıtlığının yaşandığı bazı bölgelerde bu konu önem taşımaktadır. BEES bu kategoride de TRACI’nin su tüketimi ile ilgili tanımlama modelini uyarlamıştır. Bu modelde su tüketimi için “doğrudan envanter kullanımı yaklaşımı” esas alınmaktadır. Bu yaklaşımda, kategori göstergesi referansı olarak,

envanter analizinde hesaplanan işlevsel birim başına düşen litre cinsinden su miktarı, doğrudan çevresel etki değerlendirmesinde kullanılmaktadır.

Hava kirleticileri; havada bulunan sıvı ve katı parçacıklardır. Yanma, araç operasyonu, güç üretimi, malzeme taşınması, kırma, öğütme gibi aktivitelerden dolayı artmaktadır. Bunlar astım gibi solunum yollarını etkileyen kaba parçacıkları içermektedir, ince partiküllerde ciddi solunum semptomlarına ve hastalıklara neden olmaktadır. BEES modelinde engelli geçen yaşam yılları (DALY), hava kirleticilerinden kaynaklı sağlık hasarlarını ölçmede kullanılmaktadır.

İnsan sağlığı için TRACI modeli adapte edilmiştir. Bir ürünün fonksiyonel birim başına düşen tolüen miktarını kategori göstergesi referans salım değeri olarak esas almaktadır.

Ekolojik zehirlilik; etkisi çevreye yayılarak karasal ve su ekosistemine zarar veren bir kimyasalın potansiyelini ölçmektedir. TRACI modelinden BEES'e uyarlanmıştır. Bu yöntem endüstriyel kaynaklardaki ekosisteme zarar veren kirletici yoğunluklarını ölçmektedir.

BEES, her bir çevresel etki kategorisi için; çevresel etki kategorisi ile ilgili yılda kişi başına düşen Amerika'daki salımları normalleştirme referans değeri olarak kullanılmaktadır.

BEES modelinde ağırlıklandırma yöntemi kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. Alternatif olarak EPA Bilimsel Danışma Kurulu'nun çalışmalarını ve Harvard Üniversitesindeki bazı çalışmaları da esas alan ağırlıklandırma yöntemlerini de kullanılmaktadır. EPA Bilimsel Danışma Kurulu tarafından 1990 ve 2000'de çeşitli çevresel etkilerin önem listesi geliştirilmiştir. Bu listenin gelişiminde kullanılan ölçütler; etkinin mekânsal ölçeği, tehlikenin şiddeti, maruz kalma derecesi, hatalı olduğunda uygulanan cezadır. BEES'de dokuz çevresel etki kategorisi için önem listesi şu şekilde değerlendirilmektedir. En yüksek riskli problemler; küresel ısınma, doğal ortam değişimidir. Yüksek riskli problemler; iç hava kalitesi, ekolojik zehirlilik ve insan sağlığı; orta riskli problemler ise ozon tabakasının incelmesi, kirli sis oluşumu, asitleşme, ötrofikasyon ve hava kirleticileridir (EPA, 1990).

EPA Bilimsel Danışma Kurulu fosil yakıt ve su tüketimi çevresel etki kategorilerini ele almamaktadır. Bu nedenle, diğer kaynaklar esas alındığında fosil yakıt tüketimi (Levin, 1996) nispeten orta riskli çevresel problemler olarak, su tüketimi de düşük

riskli çevresel problemler olarak ele alınmaktadır. EPA Bilimsel Danışma Kurulu, bu kategorilerin ağırlıklandırma katsayılarını “çoklu karar analizi” yöntemiyle hesaplamaktadır. Bu yöntem, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) olarak bilinen ikili karşılaştırma yöntemidir.

1992’de Harvard Üniversitesi çevresel etkilerin önemini ortaya koyan kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmiştir (Vicki ve diğ, 1992). Çalışmada, Amerika, Hollanda, Hindistan ve Kenya gibi ülkeler için ayrı değerlendirmeler geliştirilmiş, her bir ülke için mevcut ve gelecekteki çevresel sorunların değerlendirilmesi yapılmıştır. BEES’in 12 etki kategorisinden 11’i çalışılan etkiler arasındadır. Fosil yakıt tüketimi değerlendirilmemektedir. Diğer önemli ağırlıklandırma listeleri esas alındığında fosil yakıt tüketimi hem bugün hem de gelecek için orta ölçekli problem olarak değerlendirilmektedir. Bu modelde belirlenen çevresel etki kategorilerinin önem dereceleri, AHP esaslı sayısal karşılaştırma ölçeği ve ikili karşılaştırmalar esas alınarak sayısal ölçeğe dönüştürülmüştür (Vicki ve diğ, 1992).

2.2.2 BRE- environmental profiles (Yapı Araştırma Kurumu - çevre profilleri)

Yapı Araştırma Kurumu (BRE - Building Research Establishment) İngiltere’de 1999’da, 24 yapı malzemesi üreticisi; Çevre, Ulaşım ve Bölge Bakanlığı tarafından geliştirilmiştir. Bu model yapı malzemelerinin yaşam döngülerini “beşikten mezara” değerlendiren bir modeldir.

BRE YDED modeli; sınıflandırma, tanımlama, normalleştirme ve ağırlıklandırma adımlarını içermektedir. Enerji, mineral tüketimi, su tüketimi, atıklar, havaya ve suya olan salımları kapsamaktadır. Yapı malzemesinin hizmet ömrü 60 yıl olarak alınmaktadır. BRE, çoğunlukla Heijungs ve diğerlerinin çalışmaları olan CML modelini (Heijungs ve diğ, 1992) esas almaktadır.

Ele aldığı orta nokta çevresel etki kategorileri; küresel ısınma, ozon tabakasının incelmesi, ötrofikasyon, asitleşme, fosil yakıt tüketimi, fotokimyasal sis oluşumu, mineral kaynak tüketimi, su tüketimi, katı ve nükleer atık oluşumu, ekolojik zehirlilik ve insan zehirlenmesidir. Fosil yakıt tüketimi, su tüketimi, mineral kaynak tüketimi, katı ve nükleer atık hariç diğer tüm kategoriler için CML’nin dönüştürme katsayılarını kullanmaktadır.

Küresel ısınma kategorisi için tanımlama modeli olarak IPCC'nin 100 yıllık modeli esas alınmaktadır. Modelde ele alınan kategori göstergesi, küresel ısınma potansiyelidir (GWP). Her bir salım karbon dioksit (CO₂) eşdeğeri ile ölçülmektedir. Küresel ısınma potansiyeli için bir zaman skalası uygulanmaktadır. Çünkü farklı salımların küresel ısınma potansiyeli atmosferde geçirdikleri zamanın miktarı ve bu süre içinde sebep olacakları radyoaktif gücün miktarı ile ilişkilidir. Ve bu salımların atmosferde hangi sürede son bulacağı önemlidir. Örneğin hem karbon dioksit hem de kloroflorokarbon (CFC11) sera gazlarının atmosferde geçirdikleri süre farklıdır. Bu gazlar farklı sürelerde farklı etkilere sahip olacaklardır. Küresel ısınma potansiyeli (GWP) için üç farklı senaryo mevcuttur. Bunlar 20, 100 ve 500 yıllık senaryolardır (IPCC, 2007). Yaygın olarak 100 yıllık senaryo kullanılmaktadır (Grant ve Peters, 2009). BRE'de 100 yıllık senaryoyu kullanmaktadır. Sera gazları için IPCC'nin (2007) dönüştürme katsayıları kullanılmaktadır.

Ozon tabakasının incelmesi CFC11 eşdeğeri ile hesaplanmaktadır. İngiltere'de CFC üretimi 2000 yılında yasaklanmış ve hidrokloroflorokarbonların (HCFC) ise 2015 yılında yasaklanması düşünülmektedir. Tanımla modeli olarak WMO'nun modelini kullanmakta, dönüştürme katsayısı olarak salımlar CFC11'in bir kilogramının ozon tabakasının incelme potansiyeli (ODP) ile ilişkilendirilmektedir.

Asitleşmede kategori göstergesi olarak asitleşme potansiyeli (AP) esas alınarak amonyak, hidro klorik asit, hidrojen florür, azot oksit ve kükürt oksit gibi salımlar kükürt dioksit (SO₂) eşdeğerine dönüştürülmektedir.

İnsan zehirlenmesi ve ekolojik zehirlilik 1.4 diklorobenzen (DB) ile ölçülmektedir. Fotokimyasal sis oluşumunda ürün hasarı, astım ve solunum yolları rahatsızlıkları gibi çeşitli etkiler değerlendirilmektedir. Tanımlama modeli CML'den gelmektedir. Kategori göstergesi referans salımı olarak eten (C₂H₄) kullanılmaktadır.

Ötrofikasyon için; fosfat gibi hava ve suya yayılan bazı salımlar ötrofikasyon eşdeğeri için ölçülmektedir. Tanımlama modeli bu kategori için de CML modelinden alınmıştır. Kategori göstergesi referans salımı olarak fosfat (PO₄) kullanılmaktadır (BRE, 2008).

Fosil yakıt tüketimi, tüketilen fosil yakıt enerjisinin toplam miktarını yansıtmaktadır. Ton eşdeğer petrol (TEP) olarak ölçülmektedir. Toplam çevresel etki değeri, fosil yakıtlarının ton başına düşen tüketim miktarının, dönüştürme katsayısı ile

arpılmasıyla hesaplanmaktadır. Minerallerin tüketiminde toplam çıkarılan mineral miktarı kategori göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Ton olarak hesaplanmaktadır. Su tüketimi; tatlı suların tüketim, dağılım ya da kirliliği ve nehir sularının dağılım ya da kirliliği değerlendirilmektedir. Metreküp (m^3) olarak hesaplanmaktadır (BRE, 2008).

Atıklar, katı atık ve nükleer atık olarak iki grupta değerlendirilmektedir. Tüketim miktarları kategori göstergesi olarak ele alınmaktadır. Katı atıklar ton olarak hesaplanırken, nükleer atıklar milimetre kp (mm^3) olarak hesaplanmaktadır (BRE, 2008).

BRE normalleştirmede çoğunlukla CML'nin verilerini kullanmaktadır. Her bir çevresel etki kategorisi için 1995 yılına ait bir Avrupa vatandaşının sebep olduğu o kategoriye ait çevresel etki değeri normalleştirme referans değeri olarak kullanılmaktadır (BRE, 2008).

Ağırlıklandırmada, endüstri üreticileri grubundan oluşan uzman paneller çoğu sürdürülebilir konuların önemini çevresel, sosyal ve ekonomik konuları da içererek değerlendirmiş ve sonuçlarda bu farklı gruplar içinde çevresel etkilerin önemi hakkında bir fikir birliği görülmüştür (Barnard, 2007). Ağırlıklandırmada eko-puanlar kullanılmaktadır. Her bir çevresel etki kategorisi için elde edilen eko-puanlar normalleştirilmiş etki değerinin ağırlıklandırmadaki yüzdesi ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Bir İngiliz vatandaşı tarafından oluşturulan yıllık çevresel etki 100 eko puan olarak kabul edilmekte ve yüksek eko puanlar yüksek çevresel etkiyi ifade etmektedir (BRE, 2008).

2.2.3 Athena Impact Estimator (AthenaIE- Athena Etki Değerlendiricisi)

ATHENA Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü; bireylerin, şirketlerin, yönetimlerin ya da diğer kurumlarının yelikleriyle yapılanmış (Trusty ve Meil, 2000), Athena IE 2002 yılında geliştirilmiştir. Modelde yapı malzemelerinin yaşam döngüsü “beşikten mezara” değerlendirilmektedir. Kaynak çıkarılmasını ve geri dönüştürülmüş içerikli malzemeyi de ele alan malzeme üretimini, ulaşım, inşaat aşamalarını, yapı tipleri ve yaşam ömürlerini, enerji, ulaşım ve diğer faktörlerdeki bölgesel değişikliği, bakım ve yenileme faaliyetlerini, yıkım ve yok edilme evrelerini dikkate almaktadır.

Ele aldığı çevresel etki kategorileri; küresel ısınma, asitleşme, insan sağlığı- solunum yolları etkileri, ozon tabakasının incilmesi, fotokimyasal sis oluşumu, ötrofikasyon ve fosil kaynaklarının kullanımıdır. AthenaIE, tanımlama adımı TRACI'nin dönüştürme katsayılarını kullanmaktadır. Kanada'daki bir vatandaşın yıllık oluşturduğu çevresel etkiyi normalleştirme referans değeri olarak almaktadır. Ağırlıklandırmada panel yöntemini kullanarak çevresel etki kategorileri ağırlıklandırılmaktadır.

2.2.4 BEPAS (Yapı Çevresel Performans Analiz Sistemi)

Çin'de Tsinghua Üniversitesi Yapım Yönetimi Bölümü tarafından 2004'de geliştirilen; mevcut, yeni yapıların ve yapı malzemelerinin çevresel etkilerini “beşikten mezara” değerlendiren bir modeldir. Modelde yapı ömrü 50 yıl olarak ele alınmıştır.

BEPAS çevresel etki kategorilerini iki koruma alanı içinde gruplandırmaktadır. Ekosistem hasarı içinde küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi, asitleşme, ötrofikasyon, havada asılı parçacıklar, katı atıklar, fotokimyasal sis oluşumu, su kaynaklı zehirlenme, suya asılı partiküller değerlendirilmektedir. Kaynak tüketimi içinde tatlı su tüketilmesi, fosil yakıtların tüketilmesi ve diğer kaynakların tüketilmesi değerlendirilmektedir. Fosil kaynaklar olarak petrol, kömür, doğal gaz; diğer kaynaklar olarak demir, alüminyum, manganez, kireçtaşı, silika ve kereste ele alınmaktadır. Normalleştirmeyi içermemektedir. Ağırlıklandırmada ödemeye isteklilik yöntemi kullanılmaktadır.

2.2.5 BELES (Yapı Çevre Yükü Değerlendirme Sistemi)

Tsinghua Üniversitesi Yapı Bilimleri Bölümü ve Yapı Enerji Araştırma Merkezi tarafından 2007'de geliştirilen, son nokta yaklaşımını esas alarak yapıların çevresel etkilerini değerlendiren bir modeldir. Yapının tüm yaşam döngülerini analiz etmektedir. Çevresel etkiler dört son noktaya göre değerlendirilmektedir. Bunlar kaynak tüketimi, enerji tüketimi, insan sağlığı ve ekolojik hasardır.

Bazı çalışmalar kaynak tüketimini tüketilen yapı malzemelerinin toplam ağırlıklarına göre basitçe değerlendirmektedir (Tong ve diğ, 2003). Bu modelde kaynakların azlık faktörü kaynak tüketiminin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Yenilenemeyen mineral kaynakları için azlık faktörü kaynak tüketim hızı ile doğrudan orantılıdır.

Yenilenemeyen mineral kaynaklarının yanı sıra arazi, orman, su gibi kaynaklar da giderek tükenmektedir. Bu kaynaklar için mineral kaynaklardan farklı olarak azlık faktörü hesaplanmaktadır.

Modelde enerji kalite katsayısı kullanılarak enerji tüketimi değerlendirilmektedir. İnsan sağlığı ise DALY ile hesaplanmaktadır (Lijing ve diğ, 2008).

Ekosistem için yapı faaliyetlerinin ekosisteme iki şekilde zarar verdiği göz önünde bulundurulmaktadır. Birincisi asitler ve enerji kullanımı sonucu oluşan ötrofikasyona neden olan salımlardır. Diğeri ise arazinin işgali ya da türünün değişimidir. Ekosistem hasarının hayvan türlerinden çok bitki türlerine daha çok hasar verdiği ifade edilerek değerlendirmede arazi üzerinde bitki çeşitliliğindeki değişim, arazi işgalinin neden olduğu ekosistem hasarı olarak kullanılmaktadır. Alanın 50 yıl süre içinde işgal edildiği varsayılmakta ve ekosistem için hasar faktörleri belirlenmektedir.

Modelde, Çin de bir yılda tüm yapım sektöründeki birim yapı taban alanı başına olan tüm çevresel yükler normalleştirme referans değeri olarak kullanılmaktadır. Yapının inşa ve kullanımındaki enerji tüketiminin bir yıldaki toplam enerjinin % 25'i olduğu varsayılmaktadır. Malzemelerdeki evsel su tüketimi ve mevcut yapıların zemin alanları ulusal istatistik verilerinden elde edilmiştir. Toplam çevresel etkilerin mevcut yapılardaki zemin alanlarına bölünmesiyle normalleştirme değerleri elde edilmiştir (Lijing ve diğ, 2008). Ağırlıklandırmada panel yöntemi kullanılmıştır. Yapım sektörü içinden 130'dan fazla uzmana anket düzenlenmiştir. Bu uzmanlar; tasarım ofislerinden, devlet dairelerinden, gayrimenkul ve üniversitelerden oluşturulmuştur. Ağırlıklandırma katsayıları anket sonuçlarındaki oylamalara göre hesaplanmıştır.

2.2.6 BPIC -ICIP (Yapı Ürünleri İnnovasyon Konseyi - Sanayi Ortaklığı Yenilikçilik Programı)

BPIC/ ICIP Yapı Ürünleri İnnovasyon Konseyi ve Sanayi Ortaklığı Yenilikçilik Programı, Avustralya için uluslararası yapım sektörüne ait bir YDD modeli oluşturmayı amaçlamıştır. 2010'da geliştirilen model son nokta çevresel etki kategorileri olarak; insan sağlığı, doğal çevre, iklim değişimi ve kaynak tüketimini ele almaktadır.

Küresel ısınma kategorisi için kategori göstergesi küresel ısınma potansiyelidir. Tanımlama modeli olarak IPCC'nin 100 yıllık modeli esas alınmakta ve sera gazları CO₂ eşdeğerine dönüştürülmektedir.

Ötrofikasyon potansiyeli için sudaki salımlar fosfat eşdeğeri olarak ifade edilmektedir. Ancak ortamdaki azot ya da fosforun sınırlı olup olmadığını yansıtan oksijen tüketim eşdeğeri de kullanılmaktadır (Grant ve Peters, 2009). Avustralya şartlarına adapte edilen bir modelin gelişimine kadar CML modelini esas alan PO₄ kategori göstergesi referans salımının kullanılmasına karar verilmiştir.

Fotokimyasal sis oluşumu, insanlarda solunum sistemi gibi sağlık problemlerine, bitki örtüsünde hasara neden olmaktadır (Baumann ve Tillman, 2004). Tanımlama adımında dönüştürme katsayıları için Recipe modeli kullanılmaktadır. Bu modelde metan olmayan uçucu organik bileşikler kategori göstergesi referans salımı olarak kullanılmaktadır.

İnsan zehirlenmesi için CML modeli esas alınmaktadır. Arazi kullanımında kategori göstergesi referans birimi olarak "hektar x yıl" kullanılmaktadır. Tatlı su zehirliliği, deniz suyu zehirliliği ve karasal zehirliliği için CML modelinin esas aldığı 1.4 diklorobenzen (DB) referans salımı kullanılmaktadır. Ozon tabakasının incilmesi için WMO tarafından geliştirilen tanımlama modeli esas alınmakta ve CFC11 eşdeğeri kullanılmaktadır. Asitleşmede Recipe modeli esas alınmakta, kükürt dioksit (SO₂) kategori göstergesi referans salımı kullanılmaktadır (Bengtsson ve Howard, 2010).

Demir cevheri, ham cevherler, rüzgâr enerjisi gibi abiyotik kaynak tüketimi için, EDIP modelinde, bir referans yıldaki küresel üretimin ölçümü esas alınmakta ve ekonomik olarak işletilebilir rezervlere göre ağırlıklandırmaktadır. EDIP, kaynak tüketimini "kişi x rezerv" olarak hesaplamaktadır. Bu modelde de EDIP modeli esas alınmaktadır. Birimi antimon eşdeğeridir. Su kaynaklarının tüketilmesinde kategori göstergesi referans birimi olarak kilo litre esas alınmaktadır (Bengtsson ve Howard, 2010).

İyon radyasyonu kategorisi, yapı malzemesi içinde doğrudan radyasyona maruz kalmanın yanı sıra radyoaktif maddelerden yayılan etkileri de kapsamaktadır. Recipe modelinden adapte edilmiştir. Kategori gösterge birimi uranyumun bir izotopu olan U235 eşdeğeridir. Solunum etkileri kategorisi için kategori göstergesi referans salımı

olarak havadaki partiküler madde 2.5 eşdeğeri (PM2.5), partiküler madde 10 (PM10) ya da DALY kullanılmaktadır. Impact2002 modelini esas almaktadır. Gürültü kategorisi için Avustralya'ya özgü bir tanımlama modeli ve kategori göstergesi geliştirilmemiştir. İç hava kalitesinin tüm YDD çalışmalarında ele alınması önerilmektedir. Ancak bu kategori için tanımlama modeli ve kategori göstergesi belirtilmemektedir (Bengtsson ve Howard, 2010).

Normalleştirme değeri olarak yıllık Avustralya'da kişi başına düşen çevresel etki değeri esas alınmaktadır. Normalleştirme katsayıları; ulusal kirletici envanteri, Avustralya sera gazı salım bilgi sistemi, Avustralya tarım ve kaynak ekonomisi bölümü (Avustralya mineral istatistikleri) verileri incelenerek SimaPro yazılımının kullanılmasıyla hesaplanmıştır.

Avustralya'nın farklı iklim bölgelerine göre ağırlıklandırma katsayılarının hesaplanması için tüm iklim bölgelerini kapsayan büyük nüfuslu merkezlerde 11 atölye çalışması yapılmıştır. Sonuçlarda Avustralya ortalamaları ve Avustralya demografik olarak ayarlanmış ortalamaları verilmektedir. Projeye öneri ve destek sağlayacak bir ağırlıklandırma grubu oluşturulmuş, ağırlıklandırma yöntemi geliştirilerek çevresel etki kategorileri belirlenmiştir. İnceleme yapılacak alanlar ile araştırmaya katkıda bulunacak paydaşlar belirlenmiştir. Sonuçlar analiz edilerek ilk taslak rapor hazırlamış, katılımcılar ve diğer ilgili paydaşların yorumları alınmıştır. Bu geri dönüşler sonucunda son rapor oluşturulmuştur (Bengtsson ve Howard, 2010). Avustralya Yeşil Yapı Konseyi; Ulusal Yapı Derecelendirme Sistemi; Yenilikçi Sanayi Bilim ve Araştırma Bölümü; Çevre, Su, Miras ve Sanat Bölümü; Planlama Bölümü; Yapı Kodları Kurulu; Çevre, İklim Değişimi ve Su Bölümü; Wales Üniversitesi; Yapı Malzemeleri Girişim Konseyi; Çelik Enstitüsü; Beton Birliği; Yalıtım Malzemeleri Üretici Birliği; Kiremit Birliği; Donatı Çeliği Birliği; Tuğla; Ahşap Konseyi gibi çalışma grupları oluşturulmuştur. Uygulanan ağırlıklandırma yönteminde İngiltere'de geliştirilen anket araştırması kullanılmıştır. Katılımcılardan çevresel etkilerin önemine göre 100 puan üzerinden değerlendirilmesi istenmiştir. Etki kategorilerinin belli başlıkların hiyerarşisi altında ifade edilmesi, katılımcıların ağırlıklandırma seçeneklerini hiyerarşik olarak değerlendirmesini sağlamıştır. Yöntemde her bir iklim bölgesi içinde en yüksek nüfusa sahip 11 şehir seçilmiştir. Katılımcılar; Hükümet politikacıları, inşaatçılar-yükleniciler, danışmanlar, malzeme üreticileri, planlamacılar- yatırımcılar,

eylemciler- lobiciler, ticari birlikler, akademisyenler, ev alıcıları, tüketici gruplar, öğrenciler, emekliler, tarımsal işçiler, topluluklar, öğretmenler ve aile birliklerinden seçilmiştir. Küresel etkiler olarak kaynak tüketimi, ekolojik etki, deniz kirliliği, hava kirliliği, küresel ısınma ele alınmış; yerel etkiler olarak yerel kaynaklar, habitat kaybı, kentleşme, su kirliliği, hava kirliliği, arazi üretkenliği ve zehirlenme ele alınmıştır. İç sorunlar olarak konfor ve sağlık ele alınmıştır. Demografik ağırlıklandırmada yaşa, cinsiyete ve gelirlere göre ağırlıklandırma yapılmıştır (Bengtsson ve Howard, 2010).

2.3 YDED Modellerinin Karşılaştırılması

Değerlendirilen YDED modelleri farklı yaklaşımlara sahiptir. Bu farklılıklar; seçilen çevresel etki kategorilerinde, çevresel etki kategori sayılarında, sistem içinde bu kategorilerin nicel olarak değerlendirildiği yerlerde (orta ve son nokta yaklaşım modelleri), seçilen tanımlama modellerinde (characterization model) ve kategori göstergelerinde (category indicator), kategori gösterge sonuçlarının hesaplandığı tanımlama adımıyla kullanılan dönüştürme katsayılarında (characterization factor), normalleştirme referans değerinde, ağırlıklandırma katsayılarında ve yöntemlerinde görülmektedir.

Bu modeller, YDED'nin zorunlu ve zorunlu olmayan adımlarını içermesi açısından dört gruba ayrılmaktadır. Ele alınan tüm YDED modelleri ISO 14040 standardına göre zorunlu olan adımları içermektedir. Birinci gruptaki modeller (EPD, CED, CExD, IPCC, MEEup, USEtox ve EDP) sadece zorunlu adımları içerirken, ikinci gruptaki modeller (CML, TRACI, Impact2002 ve LUCAS) normalleştirmeyi de, üçüncü gruptaki modeller (EDIP, Recipe, EI99, Ecoscarcity, Jepix, BEES, BRE- EP, BPIC- ICIP, AthenaIA ve BELES) YDED'nin zorunlu adımlarını ve zorunlu olmayan normalleştirme ve ağırlıklandırma adımlarını içermektedir. Dördüncü gruptaki modeller (EPS, LIME, BEPAS) ise tanımlama sonucunda oluşan değerleri normalleştirmeden ağırlıklandırmaktadır (Çizelge 2.5). Ele alınan bu modellerde zorunlu olmayan adımlardan gruplandırma adımıyla yer verilmemiştir.

Çizelge 2.5: Değerlendirilen YDED modellerinde izlenen adımlar.

	Zorunlu Adımlar			Zorunlu Olmayan Adımlar	
	Çevresel etki kategorilerinin, tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesi	Sınıflandırma	Tanımlama (kategori gösterge sonuçlarının hesaplanması)	Normalleştirme	Ağırlıklandırma
1.Grup Modeller	X	X	X		
2.Grup Modeller	X	X	X	X	
3.Grup Modeller	X	X	X	X	X
4.Grup Modeller	X	X	X		X

Aşağıda, ele alınan modeller, YDED evresinin zorunlu ve zorunlu olmayan adımlarına göre değerlendirilmektedir.

2.3.1 Çevresel etki kategorilerinin, tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesi

En çok tanımlanan çevresel etki kategorilerinin küresel ısınma, ozon tabakasının incelmesi, ötrofikasyon, asitleşme, fotokimyasal sis oluşumu, fosil yakıtlarının tüketilmesi ve insan zehirlenmesi olduğu görülmektedir. Bu kategorilerin yanı sıra yapı malzemesiyle ilgili YDED modellerinde su ve mineral kaynakların tüketilmesi, doğal ortam değişimi ve arazi kullanımı da yaygın olarak ele alınmaktadır. İncelenen son nokta yaklaşım modellerinin ise insan sağlığı, ekosistem hasarı ve kaynak tüketimi kategorilerini çoğunlukla değerlendirdikleri görülmektedir. Kapsam içine alınan çevresel etki kategorisi sayılarında da farklılıklar vardır. Orta nokta yaklaşım modellerinde çevresel etki kategorileri 1 ile 14 arasında değişirken, son nokta yaklaşım modellerinde 1 ile 4 arasında, orta ve son nokta yaklaşımını birleştiren modellerde ise 14 ile 21 arasında değişmektedir (Çizelge 2.6, Çizelge 2.7).

Çizelge 2.6: YDED modellerinde değerlendirilen çevresel etki kategorileri.

				Orta Nokta Yaklaşımları																								Son Nokta Yaklaş.												
				Çevresel Etki Kategorileri																																				
				Ülke	Küresel Isınma	Ozon Tabakasının İncelmesi	Ötrofikasyon	Asitleşme	Fotokimyasal kirlı sis oluşumu	Fosil yakıtların tüketilmesi	İnsan Zehirlenmesi	Ekolojik zehirlilik	Doğal ortam değişimi/ Arazi kullanımı	Mineral kaynakların tüketilmesi	İnsan sağlığı	İyon radyasyonu	Karasal zehirlilik	Enerji tüketimi	Su tüketimi	Atıklar	Gürültü	Denizsuyu kirliliği	Tatlı su kirliliği	Biyotik kaynakların tüketilmesi	Partikül madde oluşumu	Tarımsal alan işgali	Kentsel alan işgali	İç Hava Kalitesi	Koku	Bölgesel Hava Kirliliği	Hava Kirleticileri	Ulaşım Kirliliği	İnsan Sağlığına Hasar	Ekosistem Hasarı	Kaynaklar	Biyocoşutluluk	İklim Değişimi	Birincil üretim	Sosyal refah	Enerji Tüketimi
YDED MODELLERİ	ORTA NOKTA YAKLAŞIM MODELLERİ	CML	Hollanda	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	
		MEEup	Hollanda	1	1	1	1						1			1	1	1				1							1											10
		EDIP	Danimarka	1	1	1	1	1		1	1								1					1																8
		TRACI	Amerika	1	1	1	1	1	1	1				1																										8
		EPD	İsveç	1	1	1	1	1	1					1																									6	
		Ecological Footprint	İsviçre							1																														1
		Cumulative Energy D.	İsviçre						1																														1	
	Cumulative Exergy D.	İsviçre						1																														1		
	USEtox	*							1	1																													2	
	ORTA VE SON NOK. BİRLEŞTİREN MODELLER	RECIPE (CML- EI99)	Hollanda	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
		LIME	Japonya	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1	1		1					1		1			1		1		1	1	1	19	
		IMPACT 2002+ (EI99, CML, IPCC)	İsviçre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1									1	1	1		1				18	
		LUCAS (EDIP, Impact2002+, TRACI)	Kanada	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																1	1	1					14	
	SON NOKTA YAKLAŞIM MODELLERİ	Eco-Indicator 99	Hollanda																														1	1	1					3
		EPS 2000	İsveç																														1	1	1	1			4	
		Eco-Scarcity	İsviçre																														1	1	1				3	
		EDP	İsviçre																																1				1	
		JEPIX	Japonya																												1	1	1						3	
		IPCC	**																															1					1	
TOPLAM			9	9	9	9	8	8	8	7	5	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	8	7	7	3	2	1	1	0		

Çizelge 2.7: Yapı malzemelerini ele alan YDED modellerinde değerlendirilen çevresel etki kategorileri.

			Orta Nokta Yaklaşımları																		Son Nokta Yaklaş.																							
			Çevresel Etki Kategorileri																																									
			Ülke	Küresel Isınma	Ozon Tabakasının İncelenmesi	Ötrofikasyon	Asitleşme	Fotokimyasal kirli sis oluşumu	Fosil yakıtların tüketilmesi	İnsan Zehirlenmesi	Ekolojik zehirlilik	Doğal ortam değişimi/ Arazi kullanımı	Mineral kaynakların tüketilmesi	İnsan sağlığı	İyon radyasyonu	Karasal zehirlilik	Enerji tüketimi	Su tüketimi	Atıklar	Gürültü	Denizsuyu kirliliği	Taht su kirliliği	Biyotik kaynakların tüketimi	Parfümlü madde oluşumu	Tarımsal alan işgali	Kentsel alan işgali	İç hava kalitesi	Koku	Bölgesel hava kirliliği	Hava kirleticileri	Ulaşım kirliliği	İnsan Sağlığına Hasar	Ekosistem Hasarı	Kaynaklar	Biyocoşetlilik	İklim Değişimi	Enerji Tüketimi	Birincil üretim	Sosyal refah	TOPLAM				
Yapı ve Yapı Malzemelerini Ele Alan YDD Araçlarındaki YDED Modelleri	ORTA NOKTA YAKLAŞIM MODELLERİ	BEES (TRACI)	Amerika	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1			1	1							1			1													13			
		BRE- Environmental Profiles (CML)	İngiltere	1	1	1	1	1	1	1			1					1	1											1											11			
		BPIC/ ICIP (CML, ReCiPe, EDIP, Impact2002+)	Avustralya	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		1						1															14			
		ATHENA (Impact Est. for Build.) (TRACI)	Kanada	1	1	1	1	1	1			1		1																										8				
		BEPAS	Çin	1	1	1	1	1	1		1		1					1	1					1																11				
	SON NOKTA YAK. MODELLERİ																																											
		BELES (Eco- indicator99)	Çin																															1		1	1	1				1		
			TOPLAM - 6	5	5	5	5	5	5	2	3	3	3	4	2	1	0	0	4	2	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0			

Değerlendirilen YDED modellerinde, çevresel etki kategorileri için farklı tanımlama modellerinin kullanıldığı, farklı kategori göstergelerinin seçildiği ve bölgeye göre değişen farklı dönüştürme katsayılarının kullanıldığı görülmektedir.

Küresel ısınma çevresel etki kategorisi için, incelenen YDED modellerinin tümünde seçilen tanımlama modeli ve kategori göstergesinde fikir birliği vardır. Hükümetler arası İklim Değişim Panelinin (IPCC) (Forster ve diğ, 2007) esas aldığı tanımlama modeli kullanılmaktadır. IPCC, Birleşmiş Milletlerin iki örgütü olan WMO ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından 1988’de İsveç’te oluşturulmuştur. Amacı, insan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmektir. Kategori göstergesi olarak sera gazlarının sera etkisindeki rolünü tanımlayan “küresel ısınma potansiyeli” (Global Warming Potential- GWP) esas alınmaktadır. Çoğunlukla 100 yıllık zaman dilimi içerisindeki küresel ısınma potansiyeli değerlendirilmektedir. Bu modellerde karbondioksit (CO₂) kategori göstergesi referans salımı olarak kullanılmaktadır. Bu model için 2013 verilerine göre bazı dönüştürme katsayıları Çizelge 2.8’de gösterilmektedir (İklim Değişimi, 2013).

Çizelge 2.8: GWP için kullanılan dönüştürme katsayıları.

Salımlar	GWP 100 (CO ₂ eşdeğeri)
Karbon dioksit (CO ₂)	1
Karbon tetra florür (CF ₄)	7350
Kloroflorokarbon (CFC 11 - CCl ₂ F ₂)	5350
Hidrokloroflorokarbon (HCFC 134a)	1550
Metan (CH ₄)	34
Azot oksit (N ₂ O)	298

Ozon tabakasının incelmesi kategorisi için, YDED modellerinin tamamında 2007’de güncellenen WMO’nun geliştirdiği tanımlama modeli (Daniel ve diğ, 2007) kullanılmaktadır. Kategori göstergesi olarak “ozon tabakasının incelme potansiyeli” (Ozone Depletion Potential- ODP) esas alınmaktadır. ODP, bir kimyasal ürünün ozon miktarındaki azaltma potansiyelidir. Kategori göstergesi referans salımı olarak CFC11 kullanılmaktadır. Bazı salımlar için YDED modellerinde kullanılan CFC11 dönüştürme katsayıları Çizelge 2.9’da verilmektedir (WMO, 2007; SimaPro, 7.3).

Çizelge 2.9: WMO’da ODP için kullanılan dönüştürme katsayıları.

Salımlar	ODP (CFC11 eşdeğeri)
CFC 11	1.00
Karbon tetraklorid (CCl ₄)	0.73
CFC 12 (CCl ₂ F ₂)	1.00
Halon 1301 (CF ₃ Br)	16.00
HCFC 22 (CHF ₂ Cl)	0.05
Metil Bromid (CH ₃ Br)	0.51

Asitleşme çevresel etki kategorisi için incelen modellerde kategori göstergesi olarak “asitleşme potansiyeli” (Acidification Potential- AP) kullanılmaktadır. Bu modellerde farklı tanımlama modelleri esas alınırken, kategori göstergesi referans salımları olarak kükürt dioksit (SO₂) veya hidrojen (H⁺) kullanılmaktadır. EDIP asitleşme kategori göstergesi sonucunu metrekare (m²) olarak hesaplamaktadır. AP için kategori göstergesi referans salımı olarak kükürt dioksit (SO₂) eşdeğerini esas alan bazı YDED modellerindeki farklı dönüştürme katsayıları Çizelge 2.10’da verilmektedir (SimaPro, 7.3).

Çizelge 2.10: Asitleşme potansiyeli için kullanılan bazı dönüştürme katsayıları.

	CML (BRE) (SO ₂ eşdeğeri)	RECIPE (BPIC- ICIP) (SO ₂ eşdeğeri)	IMPACT2002 (SO ₂ eşdeğeri)	EPD (SO ₂ eşdeğeri)
SO ₂	1.00	1.00	1.00	1.00
NO _x	0.76	0.49	0.70	0.50
NH ₃	1.60	1.99	1.88	1.60

Ötrofikasyon çevresel etki kategorisi için incelen modellerde kategori göstergesi olarak “ötrifikasyon potansiyeli” (Eutrophication Potential- EP) kullanılmaktadır. Bu kategori için fosfat (PO₄), azot (N), azot oksit (NO_x) gibi farklı kategori göstergesi referans salımları kullanılmaktadır. YDED modellerinde kullanılan PO₄ ve N referans salımları Çizelge 2.11’de verilmektedir (SimaPro, 7.3).

Çizelge 2.11: Ötrifikasyon potansiyeli için kullanılan bazı dönüştürme katsayıları.

	CML (BRE, BPIC- ICIP), Impact2002 (PO ₄ eşdeğeri)	TRACI (BEES, AthenaIE) (N eşdeğeri)
N	0.42	1.00
PO ₄	1.00	0.36
Kimyasal oksijen ihtiyacı (COD)	0.022	0.05
Fosforik asit	0.97	0.35
Fosfor	3.06	1.12
Fosfor penta oksit	1.34	0.49

Fotokimyasal sis oluşumunda YDED modellerinde kategori göstergesi olarak “kirli sis üretimi” (Smog Production- SP) kullanılmaktadır. Bu kategori için eten (C₂H₄) ve azot oksit (NO_x) kategori göstergesi referans salımları kullanılmaktadır. BEES ve AthenaIE, TRACI’nin dönüştürme katsayılarını; BRE ise CML’nin dönüştürme katsayılarını kullanmaktadır (Çizelge 2.12; SimaPro 7.3).

Çizelge 2.12: Kirli sis üretimi için kullanılan bazı dönüştürme katsayıları.

	CML (BRE), EPD (C ₂ H ₄ eşdeğeri)	TRACI (BEES, AthenaIE) (NO _x eşdeğeri)
Eten (C ₂ H ₄)	1	0.00003
Formaldehit	0.51	2.24
Asetaldehit	0.64	1.79
Bütadien	0.85	3.22
Benzen	1.32	0.24
Tolüen	1.29	1.032

Fosil yakıtların tüketilmesi çoğunlukla doğrudan envanter sonuçlarının kullanılmasıyla MJ olarak hesaplanmakta, su tüketimi m³ olarak hesaplanmaktadır. Son nokta hasar kategorilerinde engellenmiş yaşam ömrü değerleri, çeşitli kanser tiplerini içeren geniş hastalık tipleri için belirlenerek insan sağlığı en çok DALY ile ifade edilmektedir (Çizelge 2.13).

Yapı malzemelerini esas alan YDD araçlarındaki YDED modellerindeki kategori göstergesi referans salımlarına bakıldığında tüm orta nokta yaklaşım modellerinde küresel ısınma kategorisi CO₂ eşdeğeri (GWP), ozon tabakasının incilmesi kategorisi ise CFC11 eşdeğeri (ODP) olarak değerlendirilmekte ve seçilen tanımlama modellerinde fikir birliğine varılmaktadır. Asitleşme çevresel etki kategorisi için kategori göstergesi referans salımları olarak N, NO₃ ve PO₄ kullanılmaktadır. Su

tüketimi litre ya da metreküp (m^3), atıklar ve mineral kaynak tüketimi kilogram (kg) ya da ton olarak hesaplanmaktadır. Bu modellerden BEES ve ATHENA, TRACI'nin; BRE Environmental Profiles CML'nin; BPIC- ICIP ise CML, EDIP ve Recipe'nin tanımlama modellerini, kategori göstergesi referans salımlarını ve dönüştürme katsayılarını esas almaktadır (Çizelge 2.14).

Çizelge 2.13: YDED modellerinde kullanılan kategori göstergesi referans salımları ve referans birimleri.

	CML	EDIP	TRACI	EPD	LIME	RECIPE	IMPACT 2002+	LUCAS	EI99	EPS
Küresel Isınma	CO ₂	CO ₂ .	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂		
Ozon Tabakasının İncelmesi	CFC11	CFC11	CFC11	CFC11	CFC11	CFC11	CFC11	CFC11		
Ötrofikasyon	PO ₄	m ² korunmayan ekosistem/g yayılan	N		PO ₄	P ve N	PO ₄ .	N.		
Asitleşme	SO ₂	m ² korunmayan ekosistem/g yayılan	H	SO ₂ .	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂		
Kirli Sis Oluşumu	C ₂ H ₄	m ² ekosistem x ppm x saat/g yayılan; kişi x ppm x saat/g yayılan	C ₂ H ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₄ , DALY	NMVOC.	C ₂ H ₄	C ₂ H ₄		
Fosil Yakıt Tüketilmesi	MJ		MJ	MJ		Petrol	MJ			
Ekolojik Zehirlilik	1.4 DB.	m ³	2.4 DB		Benzen	1.4 DB				
Mineral Kay. Tüketil.	Sb					Fe	MJ ya da Fe			
İnsan Zehirlenmesi	1.4 DB	Kişi		PO ₄ .	Benzen, DALY	1.4 DB.	Klor etilen			
Doğal Ortam Değişimi/ Arazi Kullanımı	m ² * yıl				m ² xyıl, EINES/ m ²	m ² xyıl	m ² xyıl			
İnsan Sağlığı			PM2.5		DALY	DALY	PM2.5			
İyon Radyasyonu	DALY					Uranyum 235	C 14			
Karasal Zehirlilik	1.4 DB					1.4 DB	TEG toprak			
Gürültü		Kişi x saniye								
Deniz Suyu Kirliliği						1.4 DB	TEG su			
Tatlı Su Kirliliği						1.4 DB	TEG su			
Su Tüketimi						m ³				
Partikül Madde Oluşumu						PM 10				
Koku	m ³									
İnsan Sağlığı					DALY	DALY	DALY		DALY	P x yıl
Ekosistem Hasarı					EINES	Tür xyıl	PDF xm ² x yıl		PDFxm ² xyıl	ELU
Kaynakların Tüketilmesi					Japon Yeni	Dolar	MJ		MJ	ELU
Biyoçeşitlilik										ELU
Enerji Tüketimi					MJ					

Çevresel Etki Kategorileri

Çizelge 2.13 (devam): YDED modellerinde kullanılan kategori göstergesi referans salımları ve referans birimleri.

	Eco- Scarcity	JEPIX	CED	CExD	Eco.Footprint	MEEup	USEtox	EDP	IPCC
Çevresel Etki Kategorileri	Küresel Isınma	CO ₂	CO ₂			CO ₂			
	Ozon Tabakasının İncelmesi	CFC11	CFC 11			CFC 11			
	Ötrofikasyon	N, P	N, P						
	Asitleşme	H				SO ₂			
	Foto. Kirli Sis Oluşumu	Metan dışı uçucu organik bileşikler	C ₂ H ₄						
	Fosil Yakıt Tüketilmesi			MJ	MJ				
	Ekolojik Zehirlilik	g						Zehirlilik birimi (CTU)	
	Mineral Kaynak Tüketilmesi								
	İnsan Zehirlenmesi	g	1.4 DB			PO ₄		Zehirlenme birimi (CTU)	
	Doğal Ortam Değişimi	Kontrollü atığın ağırlığı, hacmi	Üretilen ve dolgu atık miktarı			m ² x yıl			Çevresel puan
	Arazi kullanımı	Yoğunluk							
	İyon Radyasyonu								
	Karasal Zehirlilik								
	Gürültü		Çevresel puan/ Km						
	Deniz Suyu Kirliliği								
	Biotik Kaynakların Tük.								
	Enerji Tüketimi						MJ		
	Su Tüketimi						m ³		
	Atıklar						Gram		
	Partikül Madde Oluşumu						Partiküler madde		
	Hava Kirleticileri						Uçucu organik bileşikler, Ağır metaller, Kalıcı organik kirleticiler		
	İnsan Sağlığı Hasarı	Çevresel yük puanı							
	Ekosistem Hasarı	Çevresel yük puanı							
	Kaynakların Tüketilmesi	Çevresel yük puanı							
	Biyoçeşitlilik								
	İklim Değişimi								CO ₂
	Enerji Tüketimi			MJ	MJ				

Çizelge 2.14: Yapı malzemelerini ele alan YDED modellerinde kullanılan kategori göstergesi referans salımları ve birimleri.

	BEES (TRACI)	BRE-EP. (CML)	BPIC-ICIP (CML, EDIP, RECIPE)	BEPAS	AthenaIE (TRACI)	BELES
Küresel Isınma	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂	
Ozon Tabakasının İncelmesi	CFC11	CFC11	CFC11	CFC11	CFC11	
Ötrofikasyon	N	PO ₄	PO ₄	NO ₃	N	
Asitleşme	H	SO ₂	SO ₂	SO ₂	H	
Fosil Yakıt Tüketimi	MJ	TEP	MJ	Standart soğuk enerji (SCE)	MJ	
Fotokimyasal sis Oluşumu	NO _x	C ₂ H ₄	Metan içermeyen uçucu organik bileşik	C ₂ H ₄	NO _x	
Mineral Kaynak Tüketimi	Kg	Ton	Kg	Kg		
Arazi Kullanımı	TED		Hektar x yıl			
Su Tüketimi	Litre	Litre	Kilo litre	m ³		
Atık		m ³ (katı atık), mm ³ (nükleer atık)		Kg		
Ekolojik zehirlilik	2.4 DB	1.4 DB	1.4 DB	Kurşun (Pb)		
Havaya Asılı Partiküller	DALY			Kg		
İnsan Zehirlenmesi		1.4 DB	1.4 DB, DALY			
İç Hava Kalitesi	Uçucu organik bileşikler		Model geliştirilmemiştir.			
İyon Radyasyonu			Uranyum 235			
Gürültü			Model geliştirilmemiştir.			
İnsan Sağlığı	Tolüen					DALY/m ²
Ekosistem Hasarı						PDF/m ² xyıl
Kaynaklar						Demir /m ²
Enerji Tüketimi						Kömür /m ²

Çevresel Etki Kategorileri

2.3.2 Sınıflandırma

İncelenen tüm YDED modelleri envanter analizinden gelen salımların ve tüketilen kaynakların seçilen çevresel etki kategorilerine göre düzenlendiği sınıflandırma adımını içermektedir. Bu adımda YDED modellerinde farklılıklar görülmemektedir.

2.3.3 Tanımlama

İncelenen tüm YDED modelleri kategori gösterge sonuçlarının hesaplandığı tanımlama adımını içermektedir. Tanımlama adımı için ISO 14044 (2006)'de kullanılan hesaplama yöntemi incelenen tüm YDED modellerinde kullanılmaktadır. Her bir çevresel etki kategorisi için envanter analizinden gelen salım miktarının, bu salımları kategori göstergesi referans salımına dönüştüren dönüştürme katsayıları (Characterization Factor- CF) ile çarpılmasıyla kategori gösterge sonuçları elde edilmektedir.

2.3.4 Normalleştirme

Normalleştirme adımında yaygın olarak kullanılan referans değeri, dünyada ya da dünyanın bir bölümünde belli bir zaman boyunca yayılan tüm salımların toplamı ve toplam kaynak tüketimidir (Çizelge 2.15).

Örneğin Almanya ve Hollanda coğrafik alanları içinde normalleştirme referans değerleri, yıllık toplam çevresel etki olarak ele alınmaktadır. Elde edilen sonuçlar genellikle kişisel eşdeğerleri almak için yaşayan kişi sayısına bölünebilmektedir. Bunun yararı, genellikle çok yüksek çıkan normalleştirme değerlerini daha kolay bir değere getirmek ve farklı alanlardaki normalleştirme değerleri ile karşılaştırılmasını kolaylaştırmaktır (Blonk ve diğ., 1997). Hauschild ve Wenzel yaptığı çalışmada toplam çevresel değeri, referans alınan alanlardaki yaşayanların sayısına bölerek bu alanlara göre normalleştirme değerlerini farklılaştırmıştır. Küresel etki kategorileri küresel ortalama eşdeğerlerine, bölgesel etki kategorileri de bölgesel ortalama eşdeğerlerine bölünerek normalleştirilmektedir (Hauschild ve Wenzel, 1998). İncelenen modellerin bazılarında normalleştirme adımının yer almadığı görülmektedir. Yapı malzemelerini ele alan YDED modellerinin çoğu kendi ülkelerine yönelik normalleştirme değerlerini referans değer kabul etmektedir. BELES diğer yöntemlerden farklı olarak normalleştirme referans değerini, Çin'de bir

yılda tüm inşaat sektöründeki birim yapı taban alanı başına düşen toplam çevresel yükler olarak ele almaktadır (Çizelge 2.15).

Çizelge 2.15: YDED modellerindeki normalleştirme referans değerleri.

Normalleştirme referans değerleri		
YDED modelleri	CML	1990- 1995 yıllarında toplam kişi başına düşen salım miktarı
	EDIP	Tüm etki kategorileri için 1995 yılında ortalama bir Avrupa vatandaşının yıllık çevresel etkisi
	TRACI	2008 referans yılı için Amerika'da yılda kişi başına düşen salım miktarı
	RECIPE	2000 yılı için Dünya ve Avrupa'nın toplam yıllık salım miktarı
	IMPACT 2002+	Tüm çevresel etki kategorileri için 2000 yılı için ortalama bir Avrupa vatandaşının yıllık çevresel etkisi
	LUCAS	Kanada'da kişi başına düşen yıllık toplam salım miktarı
	EI99	Her bir korunacak alan için 1993 yılı için ortalama bir Avrupa vatandaşının yıllık çevresel etkisi
	Eco scarcity	2006 yılı için mevcut kirlilik seviyesi
	JEPIX	Mevcut kirlilik seviyesi
	EPD	Normalleştirme kullanılmamaktadır.
	EPS	Normalleştirme kullanılmamaktadır.
	LIME	Normalleştirme kullanılmamaktadır.
	CED	Normalleştirme kullanılmamaktadır.
	CExD	Normalleştirme kullanılmamaktadır.
	Ecological Footprint	Normalleştirme kullanılmamaktadır.
	MEEup	Normalleştirme kullanılmamaktadır.
	USEtox	Normalleştirme kullanılmamaktadır.
	EDP	Normalleştirme kullanılmamaktadır.
	IPCC	Normalleştirme kullanılmamaktadır.
Yapı malzemeleri ele alan YDD araçlarında ki YDED modelleri	BEES	Amerika'da yılda kişi başına düşen salım miktarı
	BRE- EP.	Bir İngiliz vatandaşı tarafından oluşturulan yıllık çevresel etki
	BPIC/ ICIP	Avustralya'da yılda kişi başına düşen çevresel etki
	AthenaIE	Kanada'da kişi başına düşen yıllık toplam salım miktarı
	BELES	Çin'de bir yılda tüm inşaat sektöründeki birim yapı taban alanı başına olan tüm çevresel yükler
	BEPAS	Normalleştirme kullanılmamaktadır.

2.3.5 Ağırlıklandırma

Ağırlıklandırma adımında çevresel etki kategorilerine çevresel önem derecelerine göre öznel bir değer verilmektedir. Her çevresel etki kategorisi için puanlar, kendi ağırlıklandırma değeri ile çarpılıp bütün puanlar toplanarak toplam çevresel performans değeri oluşturulmaktadır. Ancak ağırlıklandırma adımında öznel kararlara göre bir önem sıralaması yapılması tartışmalara neden olabilmektedir (EPA, 1994;Curran, 1996; UNEP, 1996; EC, 1997; Vigon ve diğ, 2005).

İncelenen modeller doğrultusunda bazı modellerin ağırlıklandırma adımını içermediği, diğer modellerde de farklı ağırlıklandırma yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Panel yöntemi, ödemeye isteklilik yöntemi ve hedefe ulaşma mesafesi yöntemlerinden daha çok panel yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Panel yöntemi içinde de bazı farklı yaklaşımların olduğu Çizelge 2.16’da görülmektedir. Amerika’nın modeli olan BEES panel yöntemini kullanarak, EPA ve Harvard Üniversitesinin uyguladığı çoklu karar analizi olan “Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)” yöntemini esas almaktadır. BRE- EP modelinin kullandığı panel yönteminde ise “eko puanlar” kullanılmaktadır. BPIC/ ICIP modelinde çift aşamalı panel yöntemi olan “delphi yöntemi” kullanılmaktadır. Yapı malzemelerinin çevresel etkilerini değerlendiren modellere bakıldığında en çok panel yönteminin kullanıldığı görülmektedir. (Çizelge 2.16).

Çizelge 2.16: YDED modellerindeki ağırlıklandırma yöntemleri.

Ağırlıklandırma Yöntemleri		
YDED modelleri	EI 99	Panel yöntemi (Mettier, 1999).
	RECIPE	Son noktalar için panel ve ödemeye isteklilik yöntemi, orta nokta kategorileri için ödemeye isteklilik yöntemi
	LIME	Ödemeye isteklilik yöntemi (Japon Yeni)
	EPS	Ödemeye isteklilik yöntemi
	EDIP	Hedefe ulaşma mesafesi yöntemi
	Ecoscarcy	Hedefe ulaşma mesafesi yöntemi
	JEPIX	Hedefe ulaşma mesafesi yöntemi
	CML	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	TRACI	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	EPD	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	IMPACT 2002+	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	LUCAS	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	CED	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	CExD	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	Ecological Footprint	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	MEEup	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	USEtox	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	EDP	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
	IPCC	Ağırlıklandırma adımını içermemektedir.
Yapı malzemelerini ele alan YDD araçlarındaki YDED modelleri		Panel yönteminde AHP yöntemi ya da kullanıcı tanımlayabilmekte ya da tüm etkiler eşit olarak değerlendirilebilmektedir.
	BEES	
	BRE- EP.	Panel yöntemi- Eko puan sistemi
	BPIC/ ICIP PRO.	Panel yöntemi- Delphi yöntemi
	AthenaIE.	Panel yöntemi
	BELES	Panel yöntemi
	BEPAS	Ödemeye isteklilik yöntemi

Ağırlıklandırma adımında kullanılan farklı yöntemlerin yanı sıra ağırlıklandırma katsayıları; ülkelerin coğrafi konumu ve özelliklerinden, mineral ve fosil yakıtları gibi kaynaklarının durumundan, siyasi hedeflerinden dolayı farklı olmaktadır. Aşağıda yapı malzemelerinin çevresel etkilerini değerlendiren BEES (USA), BRE (İngiltere) ve BPIC-ICIP (Avustralya) YDED modelleri için esas alınan farklı ağırlıklandırma katsayıları verilmiştir (Çizelge 2.17).

Çizelge 2.17: YDED modellerindeki ağırlıklandırma katsayıları.

Çevresel Etki Kategorileri	BEES- EPA	BEES- Paydaş	BRE-EP	BPIC- ICIP
Küresel ısınma	16.0	29.0	21.6	19.0
Asitleşme	5.0	3.0	0.05	3.0
Ötrofikasyon	5.0	6.0	3.0	3.0
Mineral kaynak tüketimi	5.0	10.0	9.8	4.0
İç hava kalitesi	11.0	3.0		
Arazi değişimi	16.0	6.0		17.0
Su tüketimi	3.0	8.0	11.7	6.0
Hava kirleticileri	6.0	9.0		
Kirli sis oluşumu	6.0	4.0	0.20	3.0
Ekolojik zehirlilik	11.0	7.0		
Ozon tabakasının incilmesi	5.0	2.0	9.1	4.0
İnsan sağlığı	11.0	13.0		3.0
İnsan zehirlenmesi			8.6	3.0
Nükleer atık			8.2	
Ekolojik zehirlilik-su			8.6	10.0
Ekolojik zehirlilik-arazi			8.0	6.0
Ekolojik zehirlilik- tatlı su				10.0
Atık			7.7	
Fosil yakıt tüketimi			3.3	4.0
İyon radyasyonu				2.0
TOPLAM	% 100	% 100	% 100	% 100

2.4 Bölüm Sonucu

YDED modelinin değerlendirilmesi sonucunda, ülkeye ya da bölgeye özgü YDED modellerinin geliştirildiği görülmektedir. Mevcut YDED modellerinde seçilen çevresel etki kategorilerinin, tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin farklı olması bu etkilerin küresel ölçekte karşılaştırılmasına olanak tanımamaktadır. Yapı malzemeleri için çevresel özelliklerin karşılaştırılabilir olması, yurt içinde ve yurt dışında bu özellikleriyle öne çıkabilmelerinde ve uluslararası piyasada yer alabilmelerinde avantaj sağlayacaktır. Ayrıca bu karşılaştırma, yapı malzemelerinin çevresel özelliklerinin geliştirilebilmesine de olanak tanıyacaktır.

YDED modellerinden elde edilen çevresel sonuçlarda yerel faktörler etkili olmaktadır. Dönüştürme katsayılarının ve normalleştirme referans değerinin hesaplanmasında, ağırlıklandırma katsayılarının belirlenmesinde ülkeye özgü veriler etkili olmaktadır.

Çevresel etkilerin hesaplandığı tanımlama adımında her bir çevresel etki kategorisi için, salımları aynı eşdeğere çeviren dönüştürme katsayıları ülke ya da bölgelere göre değişebilmektedir. Bu faktörlerin yerel etkiler göz önünde bulundurularak hesaplanması gerekmektedir. Ancak bu adım çevresel konularda uzmanlık gerektirmektedir. Bu nedenle yapı malzemeleriyle ilgili YDED modelleri, bu evre için mevcut YDED modellerinin hesapladığı dönüştürme katsayılarını esas almaktadır.

Ağırlıklandırma adımı yapı malzemelerinin çevresel etki değerlendirmesinde yerel sonuçların elde edilmesi için önemlidir. Örneğin, su tüketimi Dubai için önemli bir çevresel etki kategorisi iken, İskoçya ya da Galler ülkeleri için öncelikli değildir. Bu nedenle her ülke kendi çevresel koşullarını yansıtan çevresel etki kategori ağırlık yüzdelelerini belirlemelidir.

Sonuç olarak, YDED’de yerel faktörlerin önemi dikkate alındığında, yapı malzemeleri için ülkeye özgü YDED modelinin oluşturulması gerekmektedir.

3. TÜRK YAPI MALZEMESİ SEKTÖRÜ İÇİN BİR YDED MODELİ

Çalışmanın bu bölümünde, ISO 14040 standardı doğrultusunda belirlenen ve Türk yapı malzemesi sektörü için oluşturulan YDED modeli anlatılmaktadır. Bu model YDED'nin zorunlu ve zorunlu olmayan adımlarını içermektedir (EK A).

3.1 Çevresel Etki Kategorilerinin Seçilmesi

Türk yapı malzemesi sektörü için önerilen YDED modelinde (YDED-TR), “orta nokta yaklaşım modeli” esas alınmıştır. Envanter analizinden elde edilen salım ve kaynakların önemini yansıtmak için kullanılan orta nokta yaklaşımının, bu konularda sınırlı sayıda çalışmaların olduğu Türkiye’de bir başlangıç olacağı düşünülmektedir. Son nokta yaklaşım modelleri daha kapsamlı bir çevresel modellemeyi gerektirmekte ve modeldeki belirsizlikleri artırmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada orta nokta yaklaşım modelinin seçilmesinin ve ileride yapılacak son nokta yaklaşım modelleriyle geliştirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir. YDED-TR modelinde esas alınan orta nokta yaklaşım modeline göre çevresel etki kategorileri seçilmiştir.

Bu kategoriler;

- Mevcut YDED modelleri,
- EN 15804 standardı,
- Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü sürecinde neden oldukları çevresel etkiler,
- Türkiye’deki çevresel sorunlar

göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

Türkiye'nin de yükümlü olduğu Avrupa Yapı Malzemeleri Yönetmeliği'nin yapı malzemeleri için EN 15804 standardında belirlenen çevresel etki kategorileri; küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi, asitleşme, ötrofikasyon, fotokimyasal sis oluşumu, fosil yakıtların tüketilmesi ve mineral kaynakların tüketilmesidir. Türk yapı

malzemesi sektörü için önerilen YDED modelinde seçilen 11 etki kategorisi, girdi ve çıktılarla ilgili çevresel etki kategorileri olarak Çizelge 3.1’de gösterilmektedir. Salımların neden olduğu çevresel etki kategorileri sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 3.1: Türkiye için önerilen YDED modelinde seçilen çevresel etki kategorileri.

Girdilerle ilgili çevresel etki kategorileri	
• Mineral kaynak tüketilmesi • Fosil yakıtların tüketilmesi • Suyun tüketilmesi • Arazi kullanımı	
Çıktılarla ilgili çevresel etki kategorileri	
• Küresel ısınma • Ozon tabakasının incelmesi • Ötrofikasyon • Fotokimyasal sis oluşumu • Asitleşme • İç hava kalitesi	Salımların neden olduğu çevresel etki kategorileri
• Atık	

3.1.1 Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü sürecinde neden oldukları çevresel etkiler

Yapım sektörü yayılan sera gazı salımlarının büyük bir bölümünden sorumludur. Birleşmiş Milletler Çevre Programı’na göre bu oranın % 30- 40 olduğu tahmin edilmektedir (UNEP, 2013). Yapı malzeme üretimindeki oluşum enerjisi başta olmak üzere, yapı malzemeleri kaynaklı kimyasal salımlar büyük rol oynamaktadır. Örneğin, çimento üretimi oluşan sera gazlarının %3’ünden, CO₂ salımının ise yaklaşık %5’inden sorumludur (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010). Açığa çıkan CO₂’in yarısı fırınlarda kireç taşının kalsinasyonundan, diğer yarısı ise yakıt kullanımından kaynaklanmaktadır (Marland ve diğ, 2006). Boya endüstrisinde açığa çıkan uçucu organik bileşikler ve alüminyum üretiminde açığa çıkan perflorokarbonlar (PFC) diğer önemli salımlardır. Yalıtım malzemelerinde köpük maddesi olarak kullanılan hidroflorokarbonlar (HFC) da güçlü sera gazlarındandır.

Gielen'in 1997'de yaptığı çalışmada geleneksel bir yapının 50 yıllık yaşam döngüsü içinde, toplam sera gazı salımlarının yaklaşık % 10- 20'sinin kullanılan yapı malzemeleri ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. Ancak düşük enerjili yapılarda kullanılan malzeme artacağından bu oran % 50'i aşabilmektedir (Gielen, 1997). Kram'ın 2001'de yaptığı çalışmada ise, Batı Avrupa'da yapı malzemelerinin ulaşım ve üretimi tüm sera gazı salımlarının % 7- 9'u olduğu tahmin edilmektedir. Bu salımlarda çelik, çimento ve plastiklerin etkisinin büyük olduğu vurgulanmaktadır (Kram, 2001). Küresel ısınmaya neden olan sera etkisinin önlenmesi, büyük ölçüde fosil yakıtların tüketiminin azaltılmasına, onların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına bağlı olmaktadır (Spiegel ve Meadows, 1999).

Dünyayı çevreleyen ozon tabakasının incelmesindeki temel etmen kloroflorokarbon (CFC) salımlarının atmosfere yayılmasıdır. Yapım sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerindeki, klimalar, soğutma tesisleri ve yangın söndürme sistemlerindeki CFC'lar ciddi olarak ozon tabakasının incelmesinde etkilidirler (Langford ve diğ., 1999). Ozon tabakasının zarar görmesi morötesi ışınlarının atmosfere girmesinin önlenmesini azaltarak, zararlı morötesi ışınlarının yer yüzeyine düşen miktarında artışa sebep olmaktadır. Bu artış, canlılarda deri kanseri, katarakt ve bağışıklık sistemi rahatsızlıklarını arttırmakta, organizmalara ve ekosisteme zarar vermektedir (Anderson ve diğ., 2002; EEA, 1997).

Asitleşme çevresel etkisine, fosil yakıtların yanması ve diğer endüstriyel süreçlerin neden olduğu kükürt dioksit (SO_2), azot oksit (NO_x), amonyak (NH_3), hidroklorik asit (HCl) salımları, bunun dışında kükürt bileşikleri ve diğer asitler neden olmaktadır. Plastiklerin yanması ile oluşan HCL 'de asitleşmede etkilidir. Howard'ın 2000 yılında yaptığı çalışmaya göre İngiltere'de sülfürik asit (H_2SO_4) salımlarının % 8'inin yapı malzeme üretim ve ulaşım sürecinden kaynaklandığı belirtilmektedir (Howard, 2000). Asitleşme; toprak, yeraltı ve yerüstü suları, biyolojik organizmalar, ekosistem ve malzemeler (binalar) gibi geniş kapsamlı bir etki alanına sahiptir (CML, 2001).

Sularda fazla besin birikimine azot, fosfor ve bozunabilir organik malzemeler neden olmaktadır. Sulardaki endüstri kaynaklı asılı organik partiküller ötrofikasyona neden olabilir. Yapı endüstrisinde ötrofikasyona neden olan ana kaynak fosil yakıtların yanmasıyla oluşan azot oksit (NO_x)'dir (Berge, 2000). Ötrofikasyon genellikle

ekosistemdeki tür sayısında istenmeyen değişikliklere ve ekolojik çeşitlilikte azalmaya neden olur (EEA, 1997).

Fotokimyasal sis oluşumu uçucu organik bileşenler, toz, hidrokarbon ve azot oksitlerin gün ışığında salımıyla yeryüzünde sis oluşmasıdır. Bu etki bitki yüzeylerinde bozulmaya, yapraklarda renk değişikliklerine ve bitkilerde kurumaya neden olabilmektedir. İnsanların maruz kalması ise gözde tahrişe, solunum problemlerine ve solunum sistemlerinde kronik hasarlara yol açabilmektedir. Yapım sektöründe bu salımların oluşumundaki ana kaynak fosil yakıtların yanmasıdır. Bu hem enerji yoğun üretim süreçlerindeki hem de ulaşım ile ilgili süreçlerdeki salımları kapsamaktadır.

İç mekân hava kalitesinin düzeyi, kullanıcıların sağlık ve konforunun korunması, üretkenliğin artması açısından önem taşımaktadır. Yapı malzemelerinin iç mekan hava kalitesine etkisi büyüktür. Mobilyalarda, boyalarda, cilalarda ve kullanılan temizlik maddelerinde bulunan kimyasalların çoğunda formaldehit, pentaklorfenol, civa, flor, fenol, vinilklorit ve lindan gibi zehirli gazlar açığa çıkmaktadır (Akman, 2005). Zararlı etkileri bilimsel olarak kanıtlanmış olan polistirol, polivinilklorür, formaldehit gibi sentetik maddeler, iç mekânlarda ve temizlik işlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bazı yapay ahşap ürünlerde kullanılan tutkallar zehirli gaz salımına neden olarak, iç mekan havfasına olumsuz yönde etki edebilmektedir. Fenolik reçine ve poliüretan tutkallar en düşük düzeyde salıma neden olan maddelerdir (Rousseau, 1995). Esin yaptığı çalışmada, iç hava kirleticilerini kimyasal kirleticiler, biyolojik kirleticiler, parçacıklar ve lifler olarak sınıflandırmaktadır. Uçucu organik bileşikler, radon, azot ve karbon monoksit kimyasal kirleticiler olarak; bakteriler, virüsler ve polenler biyolojik kirleticiler olarak sınıflandırılmaktadır. Asbest lifleri; cam yünü, taş yünü ve seramik yünü gibi yalıtım malzemelerinden kaynaklı lifler ve kurşun ise diğer iç hava kirleticileri olarak sınıflandırılmaktadır (Esin, 2004).

Yapım sektöründe hammadde olarak mineral kaynaklar büyük ölçüde tüketilmektedir. Kalker, kil ve alçı taşı ile çimento; çimento, agrega, katkı maddesi ile beton; madencilik etkinlikleri ile demir donatı; orman ürünlerinin kullanılması ile ahşap malzemeler tüketilmektedir. Fosil yakıtlar yenilenemeyen kaynaklardır. Aynı miktar ve etkinlikte enerji sağlayacak yenilenebilir bir kaynak henüz bulunamamıştır (Williams, 2002; TÜİK, 2010).

Su dünyada giderek önemi artan ve azalan kaynaklar arasındadır. 2003’de Birleşmiş Milletler Dünya Su Kalkınma Raporu’nda tüm su kullanımlarımızın azalacağı ve su krizine yol açacağı, 2070’de Avrupanın merkezinde ve güneyinde su sıkıntısının hissedileceği belirtilmektedir (UNESCO, 2012). Kâğıt, çimento ve metaller başta olmak üzere birçok malzemenin üretimi sırasında çok miktarda su kullanılmaktadır. Üretim sonunda oluşan ve zehirli madde içeren atık sular akarsulara ve denize karışmaktadır.

Arazi yeryüzünde sınırlı ve yenilenemeyen kaynaklardan biridir. Yapım sektörünün çevre üzerindeki etkisi ve kentsel alanların genişlemesi sürdürülebilir yapıların kesin göstergesi olarak arazi kullanımının önemini göstermektedir (Haberl, 2004). Yapı malzemeleri için hammaddenin çıkarılmasındaki kazı işlemi, üretim sürecinde sanayi ve tarımsal alanların kullanımı ya da dönüşümü, kullanım evresindeki alanlar, atık sürecindeki depolama ve yakma alanları bu kategori için etkilidir.

Yapım sektörünün de sorumlu olduğu atıkların büyük bir kısmı malzemelerin üretimi, ulaşımı ve kullanımı sonucunda oluşmaktadır (Osmani ve diğ, 2008). Üretim sürecinde atık miktarını azaltmak, üretim etkinliğini artırılması ile mümkün olmaktadır. Atıklar, yapım alanında kırma, düzeltme, bitirme işlemleri, kaba yapı için kalıp kullanma, hatalı yapım ve malzemelerin zarar görmesi sonucunda oluşmaktadır. Atıkların bir kısmı geri dönüşüm sürecine katılabilmektedir. Bazı endüstrilerde ise atıklardan enerji üretilebilmektedir. Bu seçenekler atık oluşumunu azaltmaktadır. Üretim sürecinde atık azaltma, kaynak etkinliğini de artırmaktadır. Yapı malzemelerinin yok edilmesi sırasında da seçilen yok edilme teknolojisine göre farklı atıklar oluşmakta ve bu atıklar çevreye zarar verebilmektedir (Howard ve diğ, 1999; Trusty ve Meil, 2000).

3.1.2 Türkiye’deki çevresel problemler

Hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği ve atık Türkiye’deki önemli çevresel problemlerdendir. Aşağıda söz konusu çevresel problemler ile ilgili veriler, YDED ile ilgili çevresel etki kategori başlıkları altında incelenmektedir.

3.1.2.1 Küresel Isınma

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ulusal sera gazı salımları 1996 Hükümetlerarası İklim Değişimi Paneli’nin (IPCC) raporu kullanılarak hesaplanmıştır. Salım envanteri, doğrudan seragazları olan karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot

monoksit (N₂O) ve flor (F) gazları ile dolaylı sera gazları olan azot oksitler (NO_x), metan dışı uçucu organik bileşikler ve karbon monoksit (CO) salımlarını kapsamaktadır. Bu verilere göre her geçen yıl Türkiye’de sera gazı salımı artmaktadır. 1990-2011 yılları arasındaki sera gazı salımları Çizelge 3.2’de gösterilmektedir (TÜİK, 2013).

Çizelge 3.2: 1990- 2011 yılları arasındaki sera gazı salımları (milyon ton CO₂ eşdeğeri).

	1990	1995	2000	2005	2010	2011
CO ₂	141.56	174.09	225.61	259.77	326.55	344.69
CH ₄	34.05	47.39	53.81	52.82	57.59	58.81
N ₂ O	12.22	16.82	17.14	14.67	13.08	12.65
F	0.6	0.52	1.66	3.73	4.89	6.26
Toplam	188.43	238.82	298.21	330.98	402.1	422.42

Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne 2004 tarihinde, Kyoto Protokolü’ne ise 2009 tarihinde taraf olmuştur. Sera gazları içindeki en yüksek pay CO₂’dir. Türkiye, dünya sera gazı salım oranları sıralamasında 254 ülke içinde 13. sırada yer almaktadır (TOBB, 2011). IPCC dördüncü değerlendirme raporunda (2007), Türkiye’de yıllık ortalama sıcaklığın gelecek yıllarda 2.5°- 4°C artacağı, Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri’nde 4°C’i, iç bölgelerinde ise bu artışın 5°C’yi bulacağı tahmin edilmektedir. Gerek IPCC raporu, gerekse yürütülen bir dizi ulusal ve uluslararası bilimsel model çalışmaları Türkiye’nin yakın gelecekte daha sıcak, daha kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağını ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu kategorinin YDED modeli – Türkiye’de değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.1.2.2 Ozon tabakasının incelenmesi

Türkiye, Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü’ne 1991 tarihinde taraf olmuştur ve tüm değişikliklerini kabul etmiştir. Protokole ilişkin ulusal ve uluslararası çalışmaların izlenmesi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın koordinasyonunda gerçekleştirilmektedir. 2008 tarihinde ozon tabakasını incelten maddelerin azaltılmasına ilişkin yönetmelik yayımlanmıştır. Yönetmelik ile; kloroflorokarbon (CFC) kullanımı 2006 itibarı ile sıfır tona indirilmiştir. Zorunlu kullanım alanları da dahil olmak üzere tüm ithalatı yasaklanmıştır.

Hidrokloroflorokarbon (HCFC) grubu gazların ithalatı ise 2009'dan itibaren kotaya tabidir. Yapı malzeme sektöründen kaynaklı ozon tabakasını incelten salımların kontrolünün yapılması için bu kategori YDED modeli –Türkiye’de değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.1.2.3 Asitleşme

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nin (UNFCCC) yaptığı çalışmaya göre 2006 yılı için asitleşmede etkili olan kükürt dioksit (SO₂) salımının dünya genelinde en yüksek olduğu ülkeler; Amerika, Kuzey Kore ve Niue Cumhuriyetidir. 2006 yılında dünya geneline göre ortalama bir salım sergileyen Türkiye 1990 yılındaki salımına oranla %16.6’lık bir azalma göstermiştir (UNFCC, 2010).

Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü araştırma şubesi bünyesindeki Hava Kirliliği Araştırma Grubu tarafından asit yağmurları ve sınır ötesi kirlilik taşınımının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye için yapılan ölçüm değerlendirmeleri sonucunda, ölçüm noktalarına birçok asit taşındığı ancak yağmur sularının ekosisteme ciddi bir zarar vermesinin söz konusu olmadığı, doğal bir korunma mekanizmasına neden olan Türkiye’deki kalkerli toprakların büyük bir avantaj olduğu belirtilmiştir (TUMAK, 2013). Yapı malzeme sektöründen kaynaklı asitleşmede etkili salımların kontrolünün yapılması için bu kategorinin YDED TR modelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.1.2.4 Ötrofikasyon

Su sıcaklığının artması, tarımsal kirlilik ve atık suların neden olduğu ötrofikasyon, Türkiye’de iç su ve denizlerde su seviyesinin yükselmesi ile birlikte su bitkilerinin artmasına, karasallaşma problemine ve suda oksijen yetersizliğine yol açmıştır. Sakarya Nehri ve İzmit Körfezi’nde zaman zaman görülen kitle halinde balık ölümleri bu nedene bağlanabilir (Düzgüneş, 2007). Tatlı su girdisinin fazla olması nedeniyle azot ve fosfor bakımından zengin olan Karadeniz’de ötrofikasyon ekosistemi tehdit etmekte, nehirlerle denize taşınan azot ve fosfor miktarı artmaktadır (Güngör ve Çağatay, 2006). Bu nedenle bu kategorinin YDED TR modelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.1.2.5 Fotokimyasal sis oluşumu

Türkiye’de yaz aylarında daha etkili olan güneş ışığı ve yüksek sıcaklık sebebiyle fotokimyasal sis oluşumu artmaktadır. Birleşmiş Milletler İstatistik Bölümü’nün yaptığı çalışmada, 2006 yılı için fotokimyasal sis oluşumunda etkili azot oksit (NO_x) salım değeri en yüksek olan ülkeler; Amerika, Paraguay, Rusya, Gabon, Avustralya ve Brezilya’dır. 2006 yılında NO_x salımı yüksek olan Türkiye, 1990 yılına oranla bu salımda % 72.4’lük bir azalma göstermiştir (UNSD, 2010). Yapı malzeme sektöründen kaynaklı fotokimyasal sis oluşumunda etkili salımların kontrolünün yapılması için bu kategorinin YDED TR modelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

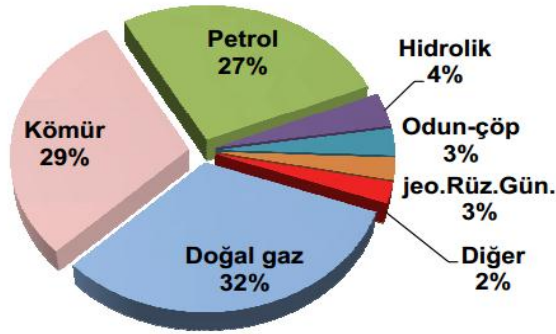
3.1.2.6 İç hava kalitesi

İç hava kalitesinde önemli bir rol oynayan uçucu organik bileşik salımlarının kontrol edilmesi ve azaltılması amacıyla Türkiye’de, Avrupa Birliği Direktiflerinin Türkiye ulusal mevzuatına uyumlaştırılması ile ilgili çalışmalar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülmektedir. 2010/75/EU (Avrupa Birliği, European Union) sayılı direktif belirli faaliyetler ve tesislerde organik solventlerin kullanımından kaynaklanan uçucu organik bileşik salımlarının sınırlandırılmasına ilişkindir. 2010/79/EU sayılı direktif ise bazı boya, vernik gibi ürünlerde organik solvent kullanımından kaynaklanan uçucu organik bileşik salımlarının sınırlandırılmasına ilişkindir (Avrupa Birliği Direktifleri- European Union Directives, 2010).

Türkiye’de iç hava kalitesi ile ilgili olarak bazı çalışmalar bulunmaktadır. İzmir’de bulunan ilkokullarda yürütülen bir çalışmada, sınıflar, anasınıfı ve oyun bahçesinde uçucu organik bileşik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan tüm ortamlarda en baskın uçucu organik bileşik türleri benzen, tolüen ve formaldehit olarak gözlenmiştir (Sofuoğlu ve diğ., 2011). Ankara’da 25 konutta formaldehit seviyeleri araştırılmıştır. Yapılan araştırmada, iç ortam formaldehit konsantrasyonunun geniş aralıklarda değiştiği gözlemlenmiştir. Yapının iç ortam sıcaklığı, bağıl nemi, yapı içinde kullanılan yapı malzemelerinin bu sonuçlarda etkili olduğu tespit edilmiştir (Menteşe ve Güllü, 2006). Bu nedenle bu kategorinin YDED TR modelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.1.2.7 Fosil yakıtların tüketilmesi

2010 sonu itibariyle Türkiye'nin yerli üretiminin kaynaklara dağılımında, kömür ilk sırayı alırken, bunu odun ve hidrolik kaynaklar izlemektedir. Türkiye enerji tüketiminin % 30'unu yerli enerji kaynaklarından sağlarken, % 70 gibi önemli bir kısmını ithal kaynaklar sağlamaktadır. İthal kaynaklar sırasıyla petrol, doğalgaz ve kömür şeklindedir. 2011 yılı için Türkiye birincil enerji arzında kaynakların payı Şekil 3.1'de gösterilmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012).



Şekil 3.1: 2011 yılı için Türkiye birincil enerji arzında kaynakların payı.

Türkiye'de birincil enerjinin %40'ını ve elektriğin %47'sini sanayi sektörü kullanmaktadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin yaptığı çalışma bazı sanayi kollarının belirlenen tasarruf potansiyelinin oldukça altında kaldığını göstermektedir (ENVER, 2010). Pek çok yapı malzemesi sektörü enerji yoğun üretime sahiptir. Enerjide dışa bağımlı olması ve enerji fiyatları açısından dünyadaki en pahalı enerjiyi kullanan ülkeler arasında yer alması (TOBB, 2011) enerji kaynaklarını Türkiye için önemli kılmakta, bu kategorinin YDED TR modelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.1.2.8 Mineral kaynakların tüketilmesi

Türkiye madencilik sektör raporuna göre, maden çeşitliliği açısından dünyanın zengin ülkelerinden biri olmasına karşın, gerek toplam rezerv yönüyle gerekse tek tek yatak boyutları kıyaslandığında, Türkiye'nin maden potansiyelinin bazı madenler dışında çok yüksek olmadığı belirtilmektedir. Özellikle, enerji hammaddeleri açısından Türkiye'nin zengin olduğunu söyleyebilmek zordur. Maden İşleri Genel Müdürlüğü'ne göre yapım sektöründe kullanılan jips, lületaşı, mermer, diatomit, kireçtaşı, pomza, linyit, feldspat, dolomit, silis kumu, kalsit, asbest Türkiye'de bulunan zengin mineral kaynaklardır. Krom, civa, tras, diatomit, kum-çakıl Türkiye için önemli mineral kaynaklardır. Bakır, boya toprakları, manganez,

maden kömürü, kurşun, çinko, talk, demir, kükürt, mika, fosfat ve kil mineralleri ise yetersiz mineral kaynaklardandır (TOBB, 2007).

Türkiye’deki cam, seramik, çimento, alçı, hafif yapı malzemeleri, boya, tuğla-kiremit ve mermer sanayileri ülkemizdeki endüstriyel hammaddelere dayalı olarak kurulan önemli sanayi dallarıdır. Söz konusu sanayiler yurtiçi madencilğe dayalı olarak kurulmuş olmakla birlikte, bugün Türkiye gerek ihtiyacın büyümesi ve gerekse kalite problemleri nedeniyle önemli miktarda endüstriyel hammadde ithal eder duruma gelmiştir. Enerji hammaddelerinin ardından, madencilik sektörü kapsamında ithalatı yapılan en önemli ürün demir cevheridir. Yerli demir cevheri üretiminin çok yetersiz olması nedeniyle, cevherden üretim yapan mevcut üç entegre demir çelik tesisi ağırlıklı olarak cevher ihtiyaçlarını ithalat yoluyla karşılamaktadır (Türkiye Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 2006). Yapı malzeme sektöründe kullanılan mineral kaynakların tüketiminin kontrolü için bu kategori YDED TR modelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.1.2.9 Su tüketilmesi

Türkiye İstatistik Kurumu’nun 2030 yılı toplam nüfusun 100 milyon kişi olacağı tahminine dayanarak ve mevcut su potansiyellerimiz göz önünde bulundurularak, kişi başına düşen su miktarının 2030 yılında yaklaşık 1000 m³/ yıl civarında olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle Türkiye’nin su bakımından zengin bir ülke olmadığı belirtilmektedir (ÇED, 2011). Bu nedenle bu kategorinin YDED TR modelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.1.2.10 Atık

Türkiye İstatistik Kurumu’nun 2012 verilerine göre; maden işletmelerinde oluşan 952 milyon ton atığın %99.8’ini mineral atıklar oluşturmuştur. Toplam atığın %68.1’i düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmiş, %25.3’ü ocak içine dökülmüş, %5.7’si maden sahalarının doğaya yeniden kazandırılması amacıyla kullanılmış, %1’i ise diğer yöntemlerle geri kazanılmış ya da bertaraf edilmiştir (TÜİK, 2012). Çevre ve Şehircilik Bakanlığının yayınladığı rapor (2012) atığın 81 ilin 23’ünde birinci çevre problemi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu kategorinin YDED TR modelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.1.2.11 Arazi kullanımı

Türkiye’de 2000 ve 2006 yıllarında Avrupa Birliği’nin arazi yönetimi projelerinden biri olan CORINE (Çevresel Verilerin Koordinasyonu Projesi- Çevre Bilgi Düzeni) programı kapsamında proje çalışmaları yapılmıştır. 2006 yılında yapılan projenin verilerine göre; Türkiye’nin %1.65’ini yapay bölgeler (yerleşim yerleri,sanayi ve ulaşım alanları vb.), % 42.34’ünü tarımsal alanlar, % 54.04’ünün orman ve yarı doğal alanlar, % 0.36’sını sulak alanlar, %1.64’ünü su kütleleri oluşturmaktadır. 2000 yılı ile 2006 yılı verileri karşılaştırıldığında; yapay bölgeler ve su kütlesinde artış, tarımsal alanlar, orman yeri, yarı doğal alanlar ve sulak alanlarda ise azalış olduğu görülmektedir. Artan nüfus, kentleşme ve sanayileşme, tarım ve orman alanlarında azalışa sebep olmakta ve bu alanlarda baskı yaratmaktadır (Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012). Bu nedenle bu kategorinin YDED TR modelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.2 Tanımlama Modellerinin ve Kategori Göstergelerinin Seçilmesi

Mimarın, yapı ve yapı malzemeleri üzerinde çalışan kişilerin bir çevresel etki kategorisi için hangi kategori göstergesinin ve hangi tanımlama modelinin en iyi olduğuna karar vermesi zordur. Çünkü çevresel etki kategorisi için birden fazla kategori göstergesi ve tanımlama modelleri bulunmakta, en iyi kategori gösterge ve modelini seçmek çevre mühendisliği ve çevresel konularda uzmanlık gerektirmektedir.

Bu nedenle,

- Türkiye’nin uygulamakla yükümlü olduğu EN 15804 standardı,
- Türkiye’deki veriler,
- Hauschild M. ve diğerlerinin 2013’de yaptığı kapsamlı çalışma

bu model için referans olmaktadır. Hauschild ve diğerlerinin çalışmasında belirlenen tanımlama modelleri ve kategori göstergeleri tavsiye edilen ve güvenilen, tavsiye edilen fakat bazı gelişmeler gerektiren, tavsiye edilen fakat dikkatle uygulanması gereken modeller ve göstergeler olarak üç seviyede incelenmektedir (Hauschild ve diğ, 2013).

Salım kaynaklı çevresel etki kategorileri olan küresel ısınma, ozon tabakasının incelmesi, asitleşme, ötrofikasyon ve fotokimyasal sis oluşumu için bu modelde EN 15804 standardının esas aldığı tanımlama modelleri ve kategori göstergeleri önerilmektedir. Çevresel etki kategorileri için bu standartta Avrupa Komisyonu'nun desteklediği Avrupa Referans Yaşam Döngüsü Veritabanı'nın (ELCD) uyguladığı dönüştürme katsayıları uygulanmaktadır. Bu modelde Türkiye için bu katsayıların kullanılması önerilmektedir. Salım kaynaklı çevresel etki kategorisi olan iç hava kalitesi EN 15804 standardında yer almamaktadır. İç ortam kalitesini etkileyen uçucu organik bileşiklerden benzen, toluen, formaldehit ve kloroform EPA, Amerika İnsan Sağlığı Servisi, diğer çevre ve insan sağlığı araştırma merkezleri tarafından birinci sınıf kanserojen olarak tanımlanmıştır (EPA, 2009). Formaldehid; göz, burun ve boğaz tahrişleri, öksürük, bitkinlik, alerjik hastalıklar üzerinde etkilidir. Bu salımın kansere yol açtığı ve merkezi sinir sistemini de etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle, yapı malzemelerinden kaynaklı toplam uçucu organik bileşikler salımı bu model için kategori göstergesi referans salımı olarak önerilmektedir.

Türk yapı malzemesi sektörü için geliştirilen YDED modelinde fosil yakıt tüketimi, mineral kaynak tüketimi, su tüketimi ve atık kategorisi için YDE analizinden gelen verilerin toplamını esas alan “envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımı” seçilmiştir. Bu kategoriler için TÜİK'in çevresel konularla ilgili veritabanı göz önünde bulundurulmaktadır.

Küresel ısınma için IPCC (Forster ve diğ, 2007) tarafından yayınlanan tanımlama modeli, küresel ısınma potansiyelinin değerlendirildiği tek modeldir. Hauschild M. ve diğerleri (2013) bu kategori için IPCC'nin 100 yıllık modelini (Forster ve diğ, 2007) tavsiye edilir ve güvenilir bulmaktadır. EN 15804 standardı da bu modeli esas almaktadır. Bu modelde kategori göstergesi, insan faaliyetleri ile oluşan sera gazlarının sera etkisine katkısını tanımlayan küresel ısınma potansiyeli (GWP)'dir. CO₂, küresel ısınma potansiyelinin değerlendirilmesinde kategori göstergesi referans salımı olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de TÜİK'in hazırladığı sera gazı envanterlerine bakıldığında da salımlar karbon dioksit (CO₂) eşdeğeri olarak hesaplanmaktadır (Çizelge 3.1). TÜİK İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu'nun altında sera gazı salım envanteri çalışma grubu bulunmaktadır. Bu grup İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında geliştirilen IPCC'nin önerdiği yaklaşımları kullanarak enerji, endüstriyel süreçler, tarımsal faaliyetler ve atıklardan

kaynaklanan salımları ulusal düzeyde ve yıllık bazda hesaplamaktadır. Sera gazı salım envanteri; enerji, endüstriyel süreçler, tarımsal faaliyetler ve atık bertarafından kaynaklanan, doğrudan sera gazları olan karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFC) ve kükürt hekzaflorür (SF₆) ile dolaylı sera gazları olan azot oksitler (NO_x), metan dışı uçucu organik bileşikler ve karbon monoksit (CO) salımlarını kapsamaktadır. TÜİK'in esas aldığı sera gazlarının dönüştürme katsayıları Çizelge 3.3'de verilmektedir (TÜİK, 2009). Türkiye için geliştirilen YDED modelinde de IPCC'nin 100 yıllık modeli ve bu modelin esas aldığı güncel dönüştürme katsayıları önerilmektedir.

Çizelge 3.3: Bazı sera gazlarının GWP dönüştürme katsayıları.

Salımlar	Kimyasal formülleri	GWP eşdeğeri
Karbondioksit	CO ₂	1
Metan	CH ₄	25
Di azot monoksit	N ₂ O	298
Hidrokloro floro karbon	HFC _s	140- 11700
Kükürt hekza florür	SF ₆	23900

Ozon tabakasının incelmesi kategorisine yönelik Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından hazırlanan model, kullanılan tek tanımlama modelidir (Daniel ve diğ., 2007). Hauschild M. ve diğerleri bu kategori için WMO'nun modelini tavsiye edilir ve güvenilir bulmuştur (Hauschild ve diğ., 2013). EN 15804 standardı da CFC11'in kategori göstergesi referans salımı olarak kullanıldığı bu modeli esas almaktadır. Bir kimyasal ürünün ozon miktarındaki azaltma potansiyeli olan ozon tabakasının incelmesi potansiyeli (ODP) kategori göstergesidir. Ozon tabakasını incelten maddeler ilişkin Montreal Protokolü'ne Türkiye 1991 tarihinde taraf olmuş ve tüm değişikliklerini kabul etmiştir. Bu nedenle bu modelde WMO'nun önerdiği tanımlama modeli ve dönüştürme katsayıları esas alınmaktadır (WMO, 2010; Çizelge 3.4). Türkiye'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı- İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı tarafından 12.11.2008 tarihli ve 27052 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Yönetmelik" gereğince Ek-7'de listelenen maddelerin (kloroflorokarbonlar, halonlar, hidrokloroflorokarbonlar, karbon tetraklorür, metil cloroform, metil bromür) tüm kullanım alanları için ithalatı, ihracatı, ürün ve ekipman içerisinde bulundurulması, stoklarda bulundurulması ve kullanımı yasaktır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca yayınlanan 2015'de yürürlüğe girmesi planlanan "Ozon Tabakasını İncelten

Maddelere İlişkin Yönetmelik Taslağı”, Ek- 6’da kullanımı yasaklanan maddeler listesinde; kloroflorokarbonlar, halonlar, hidrokloroflorokarbonlar, karbon tetraklorür, metil cloroform, metil bromür’ün yanı sıra hidrokloroflorokarbonlar da yer almaktadır.

Çizelge 3.4: Salımların ODP dönüştürme katsayıları.

Salımlar	Kimyasal formülleri	ODP eşdeğeri
Kloroflorokarbon11	CFC 11	1.00
Kloroflorokarbon12	CFC 12	1.00
Kloroflorokarbon113	CFC 113	0.80
Kloroflorokarbon114	CFC 114	1.00
Kloroflorokarbon115	CFC 115	0.60
Halon 1301	CF ₃ Br	10.00
Halon 1211	CF ₂ ClBr	3.00
Halon 2402	C ₂ Br ₂ F ₄	6.00
Karbon tetraklorür	CCl ₄	1.10
Metil kloroform	CH ₃ CCl ₃	0.10
Hidrokloroflorokarbon21	HCFC 21	0.04
Hidrokloroflorokarbon22	HCFC 22	0.05
Hidrokloroflorokarbon121	HCFC 121	0.04
Hidrokloroflorokarbon122	HCFC 122	0.08
Hidrokloroflorokarbon123	HCFC 123	0.02
Hidrokloroflorokarbon141b	HCFC 141b	0.11
Hidrokloroflorokarbon142b	HCFC 142b	0.06
Hidrokloroflorokarbon221	HCFC 221	0.07
Hidrokloroflorokarbon222	HCFC 222	0.09
Metil bromür	CH ₃ Br	0.60

Asitleşme kategorisi için EN 15804 standardı, Zelm ve diğerleri (2007) tarafından Recipe için geliştirilen tanımlama modelinde olduğu gibi kükürt dioksit (SO₂) referans salım olarak kullanılmaktadır. Kategori göstergesi bazı maddelerin su, hava ve toprağın pH (hidrojenin gücü- Power of Hydrogen) değerine etkisini tanımlayan asitleşme potansiyelidir (AP). Bu modelde de SO₂ referans salımı esas alınmaktadır.

Çizelge 3.5: Salımların Avrupa için AP dönüştürme katsayıları.

Salımlar	Kimyasal Formülleri	AP eşdeğeri
Kükürt dioksit	SO ₂	1.00
Hidroklorik asit	HCL	0.88
Hidrojen florür	HF	1.60
Azot di oksit	NO ₂	0.70
Hidrojen sülfür	H ₂ S	1.88
Amonyum	NH ₄	0.89
Amonyak	NH ₃	0.93

Ötrofikasyon için EN 15804 standardı, CML (Guinee ve diğ, 2002; Heijungs ve diğ, 1992) tanımlama modelinde olduğu gibi fosfat (PO_4) referans salımını kullanmaktadır. Kategori göstergesi, ürünün kendisinden ya da üretiminden kaynaklı salımların sonucunda ekosistemin olası ötrofikasyon riskini gösteren ötrofikasyon potansiyeli (EP)'dir. Bu modelde de PO_4 eşdeğeri esas alınmaktadır.

Çizelge 3.6: Salımların EP dönüştürme katsayıları.

Salımlar	Kimyasal Formülleri	EP eşdeğeri
Fosfat	PO_4	1.00
Amonyak	NH_3	0.35
Amonyum	NH_4	0.33
Di azot monoksit	N_2O	0.27
Nitrat	NO_3	0.10
Nitrik asit	HNO_3	0.10
Azot	N	0.42
Azot di oksit	NO_2	0.13
Azot oksit	NO	0.20
Fosforik asit	H_3PO_4	0.97
Fosfor	P	3.07
Fosfor penta oksit	P_2O_5	1.34

Fotokimyasal sis oluşumu için EN 15804 standardına göre CML (Guinee ve diğ, 2002) tanımlama modelinde olduğu gibi eten (C_2H_4) kategori göstergesi referans salımı esas alınmaktadır. Kategori göstergesi fotokimyasal sis oluşum potansiyelidir (POCP). Yer seviyesindeki ozon birikimi UV radyasyonu ile birlikte bazı gazların etkileşimini esas almaktadır. Bu modelde de eten eşdeğeri kullanılmaktadır.

Çizelge 3.7: Salımların fotokimyasal sis oluşum potansiyeli (POCP) dönüştürme katsayıları (CML, 2012).

Salımlar	Kimyasal Formülleri	POCP eşdeğeri
Eten	C_2H_4	1.00
1-Bütanol	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	0.62
2-Bütanol	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	0.40
Asetaldehit	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	0.64
Benzen	C_6H_6	0.21
Toluen	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$	0.63
1-Büten	C_4H_8	1.07
Karbon monoksit	CO	0.02
Etan	C_2H_6	0.12
Etanol	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	0.39
Propen	C_3H_6	1.12
Formaldehit	CH_2O	0.51
Heptan	C_7H_{16}	0.49
Asetik asit	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	0.09

Fosil yakıt tüketimi kategori göstergesi olarak EN 15804 standardı kaynakların tüketim potansiyelini esas almakta, toplam tüketilen fosil kaynaklarını MJ olarak hesaplamaktadır. Türkiye’de TÜİK verilerine bakıldığında bu tüketimin ton eşdeğer petrol (TEP) olarak hesaplandığı görülmektedir (TÜİK, 2008). Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi’nin raporuna (2012) göre enerji kaynaklarının TEP (ton eşdeğer petrol) dönüştürme katsayıları Çizelge 3.8’de gösterilmektedir. Bu modelde de TEP kategori göstergesi referans birimi olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 3.8: Enerji kaynaklarının ton eşdeğer petrol (TEP) dönüştürme katsayıları.

	Enerji Kaynakları	Ton eşdeğer petrol (TEP)
1 Ton	Taşkömürü	0.61
1 Ton	Linyit (teshin ve sanayi)	0.30
1 Ton	Linyit (santral)	0.20
1 Ton	Linyit (Elbistan)	0.11
1 Ton	Asfaltit	0.43
1 Ton	Kök	0.70
1 Ton	Briket	0.50
1 Ton	Ham petrol	1.05
10 ³ m ³	Doğalgaz	0.91
10 ³ kwh	Elektrik Enerjisi	0.08
10 ³ kwh	Jeotermal Enerji (elektrik)	0.86
10 ³ kwh	Nükleer Enerji	0.26
1 Ton	Odun	0.30
1 Ton	Hayvan ve bitki artıkları	0.23

Mineral kaynak tüketimi için Türkiye’de Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü’nün yaptığı mineral envanterleri ile ilgili çalışmalarda “ton” birimi kullanılmaktadır (MTA, 2013). Bu modelde, yapı malzemelerinin çevresel etkilerini değerlendiren diğer modellerde olduğu gibi mineral kaynak tüketimi “ton” olarak hesaplanmaktadır. TÜİK’in envanter çalışmaları esas alınarak su tüketiminin “metreküp (m³)” olarak hesaplanması, atık kategorisinin ise “ton” olarak hesaplanması önerilmektedir. Arazi kullanımının kategori göstergesi arazi dönüşümü ve işgali nedeniyle ekosistemdeki hasar olarak tanımlamakta, kategori göstergesi referans birimi olarak “metrekare x yıl” kullanılması önerilmektedir. İç hava kalitesi için yapı malzemelerinden kaynaklı toplam uçucu organik bileşikler kategori göstergesi referans salımı olarak esas alınmaktadır. Çizelge 3.9’da salımların neden olduğu etki kategorileri için kategori göstergesi referans salımları, girdilerle ilgili etki kategorileri ve atık için kategori göstergesi referans birimleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.9: YDED TR modeli için önerilen kategori göstergesi referans salımları ve birimleri.

Çevresel etki kategorileri	Tanımlama modelleri	Kategori göstergesi (Cİ) referans salımları ve birimleri
Küresel ısınma	IPCC (Forster ve diğ, 2007)	Karbon dioksit (CO ₂)
Ozon tabakasının incelməsi	WMO (Daniel ve diğ, 2007).	Kloroflorokarbon (CFC11)
Asitleşme	Recipe (Zelm ve diğ, 2007)	Kükürt dioksit (SO ₂)
Ötrofikasyon	CML (Guinee ve diğ, 2002; Heijungs ve diğ, 1992)	Fosfat (PO ₄)
Fotokimyasal sis oluşumu	CML (Guinee ve diğ, 2002; Heijungs ve diğ, 1992)	Eten (C ₂ H ₄)
İç hava kalitesi	Envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımı	Uçucu organik bileşikler
Mineral kaynak tüketimi	Envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımı	Ton
Su tüketimi	Envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımı	Metreküp (m ³)
Atık	Envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımı	Ton
Arazi kullanımı	Envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımı	Metrekare (m ²) x yıl
Fosil yakıt tüketimi	Envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımı	Ton eşdeğer petrol (TEP)

3.3 Envanter Sonuçlarının Sınıflandırılması ve Veri Kaynaklarının Belirlenmesi

Sınıflandırmada YDE analizi sonucunda elde edilen, yapı malzemelerinin yaşam döngüleri boyunca sebep oldukları salımlar, tüketilen kaynaklar ve atıklar seçilen çevresel etki kategorilerine göre düzenlenmektedir. Sera gazları küresel ısınma kategorisine; CFCs salımları ozon tabakasının incelməsi kategorisine; kükürt dioksit, amonyak, hidroklorik asit, hidrojen florür, kükürt salımları ve diğer asitler asitleşme kategorisine; amonyak, nitratlar, azot oksitler ve toplam azot ve fosfor salımları ötrofikasyon kategorisine; eten, bütanol, benzen, toluen, karbon monoksit, propen, etan, formaldehit, heptan, asetik asit, aseton ve butadien gibi salımlar fotokimyasal sis oluşumu kategorisine, yapı malzemesinden kaynaklı uçucu organik bileşik salımları ise iç hava kalitesi kategorisine sınıflandırılmaktadır.

Küresel ısınma kategorisi için Türkiye’de veri kaynağı, TÜİK’in doğrudan sera gazları ve dolaylı sera gazları olarak yıllık değerlendirdiği “Ulusal Sera Gazı Salım Envanteri”dir. Bu salımlar için TÜİK’in kullandığı veri kaynakları;

- Enerji denge tabloları - Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,
- Sanayi üretim verileri - TÜİK,
- Arazi kullanım değişikliği hesaplamaları ve verileri – Orman ve Su İşleri Bakanlığı,
- Atık verileri - TÜİK,
- Ulaştırma kaynaklı salım hesaplamaları ve verileri – Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı,
- HFC’ler, PFC’ler ve SF₆ salım hesaplamaları ve verileri - Çevre ve Şehircilik Bakanlığıdır.

Sera gazı salımlarının izlenmesine ve raporlanmasına dair usul ve esasları içeren “Sera Gazı Salımlarının Takibi Hakkında Yönetmelik” Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından resmi gazetede yayınlanmıştır (Mayıs, 2014). Bu yönetmelik karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot oksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFC), perflorokarbonlar (PFC) ve sülfür heksa florür (SF₆) salımlarını içermektedir.

“Avrupa Birliği Entegre Kirliliğin Önlenmesi ve Kontrolü (EKÖK) Direktifi”, demir ve çelik imalatı, metal üretimi ve işlemesi, mineral (çimento klinkeri, cam, seramik ürünleri imalatı vb.) gibi yapı malzemeleri sanayisini ilgilendiren sektörlerin havaya, toprağa ve suya yönelik salımlarından atık oluşumuna, ham madde kullanımı ve enerji verimliliğinden gürültü gibi çevresel performanslarının tüm boyutlarını kapsamaktadır. Türkiye EKÖK Direktifi’ne henüz uyum sağlamış değildir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından bu direktifin uygulanması konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye’de EKÖK Direktifinin Uygulanması için Düzenleyici Etki Analizi Raporunda (2013), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve TÜİK veritabanlarının kullanılarak salım envanterlerin genişletilmesi ve güncellenmesinin amaçlandığı belirtilmektedir.

Türkiye’de çevresel değerlendirmelerde TÜİK; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı; Orman ve Su İşleri Bakanlığı; Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığının veri kaynakları kullanılabilir.

3.4 Tanımlama; Kategori Gösterge Sonuçlarının Hesaplanması

Tanımlama adımı, her bir çevresel etki kategorisi için envanter analizinden kilogram olarak elde edilen salım miktarları dönüştürme katsayısı (CF) ile çarpılarak aynı kategori göstergesi referans birimine çevrilmiştir (ISO 14044, 2006).

$$ED_{jk} = \sum_{i=1}^n I_{ij} \times CF_i \quad 3.1$$

ED_{jk} = Farklı j yapı malzemeleri için k çevresel etkisi ile ilgili ham
(normalleştirilmemiş ve ağırlıklandırılmamış) etki değerlendirme puanı,

n = k çevresel etkisi ile ilgili salım sayısı,

i = salım,

I_{ij} = Farklı j yapı malzemeleri için i salımıyla ilgili YDE analizinden gelen kg
cinsinden salım miktarı,

CF_i = i salımını kategori göstergesi referans salımına dönüştürme katsayısıdır.

Türkiye için geliştirilen YDED modelinde küresel ısınma için ilgili salımları karbon dioksit (CO_2) eşdeğerine çeviren küresel ısınma potansiyeli (GWP) dönüştürme katsayıları, ozon tabakasının incilmesi için ilgili salımları kloroflorokarbon (CFC11) eşdeğerine çeviren ozon tabakasının incelme potansiyeli (ODP) dönüştürme katsayıları, asitleşme için ilgili salımları kükürt dioksit (SO_2) eşdeğerine çeviren asitleşme potansiyeli (AP) dönüştürme katsayıları, ötrofikasyon için ilgili salımları fosfat (PO_4) eşdeğerine çeviren ötrofikasyon potansiyeli (EP) dönüştürme katsayıları ve fotokimyasal sis oluşumu için ilgili salımları eten (C_2H_4) eşdeğerine çeviren fotokimyasal sis oluşum potansiyeli (POCP) dönüştürme katsayılarının kullanılması önerilmektedir (Çizelge 3.3, Çizelge 3.4, Çizelge 3.5, Çizelge 3.6, Çizelge 3.7). Salım kaynaklı çevresel etki kategorilerinin dışında fosil yakıt tüketimi kategorisi için enerji kaynaklarının ton eşdeğer petrol (TEP)'e dönüştürme katsayılarının kullanılması önerilmektedir (Çizelge 3.8).

3.5 Normalleştirme

Farklı kategori referans salımlarına ve birimlerine sahip 11 kategori gösterge sonucunun toplanabilmesi için bu değerleri birimsizleştiren normalleştirme katsayısına (Normalization Factor- NF) ihtiyaç duyulmaktadır.

Mevcut modellerin çoğu, çalışma kapsamı içindeki bölgede oluşan tüm çevresel etkileri söz konusu bölgenin nüfusuna bölerek bir kişinin çevresel etkisini normalleştirme değeri olarak almaktadır. Türkiye için önerilen bu modelde de, her bir çevresel etki kategorisi için bir Türk vatandaşının toplam çevresel etkisi normalleştirme katsayısı olarak seçilmiştir. TÜİK, çalışmanın yapıldığı 2013 yılı için Türkiye'nin nüfusunu 76667864 kişi olarak belirtmektedir. Her bir çevresel etki kategorisi için referans yıl için toplam çevresel değerin belirlenmesi normalleştirme katsayısının hesaplanmasını sağlayacaktır.

3.6 Ağırlıklandırma

Türkiye için önerilen YDED modelinde seçilen çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırma katsayılarının (Weighting Factor- WF) belirlenmesinde panel yöntemi kullanılmaktadır. Ödemeye isteklilik yöntemi için ülkelerin çevresel hasarlara karşılık gelen yaptırımlarının olması gerekmektedir. Türkiye için böyle bir yaptırım yoktur. Hedefe ulaşma mesafesi yönteminde ise ülkelerin politik hedefleri dikkate alınmaktadır. Bu model için ülkelerin hedefleri değiştiğinde çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırılması da değişeceğinden panel yöntemi uygun bulunmuştur.

YDED'nin bir adımı olan ağırlıklandırma için çalışmalar yapılmıştır (Braunschweig ve diğ, 1994; Eriksson, 1996; Finnveden, 1996; Lindeijer, 1996; Hertwich ve diğ, 1997; Bengtsson, 1998). Bazı çalışmalar farklı değerlendirme yöntemlerinin farklı sonuçlar vereceğini göstermektedir (Baumann ve Rydberg, 1994). Değerlendirme yöntemleri farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Birinci ayırım değerlendirme yönteminin nitel ya da nicel olmasıdır. İkinci ayırım ise ağırlıklandırma katsayılarının elde edildiği nicel yöntemler arasında yapılmaktadır (Brunner, 1998).

Almanya'da yapılan çalışmada ağırlıklandırma katsayılarının belirlenmesi, panel yönteminde Delphi yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Anonymous, 1991; Annema, 1992). Panel üyeleri; endüstri, hükümet, çevresel gruplar, üniversitelerdeki bağımsız

kişilerden ve bilimsel enstitülerden oluşturulmuştur. Dört adımdan oluşan sürecin birinci adımında çevresel etki kategorilerinin önem derecesinin belirlenmesinde bir uzlaşmaya varılması amaçlanmıştır. İkinci adım, ağırlıklandırma katsayılarının ilk değerlendirmesi olmuştur. Her bir üye gizli olarak bu değerlendirmeyi yapmıştır. Üçüncü adımda sonuçlar tüm üyelere sunulmuştur. Son adımda süreç çevresel etki kategorileri arasında bir sıralama yapılana kadar devam etmiştir.

Almanya’da yapılan ikinci bir çalışmada, 22 çevresel uzmanla görüşme yapılmıştır. çevresel etki kategorisi ile ilgili bilgi verilerek bu kategorileri sıralamaları istenmiştir. Bu kategoriler küresel ısınma, asitleşme, ekolojik zehirlilik, ozon tabakasının incelmeye, ötrofikasyon ve insan zehirlenmesidir. İkinci adımda uzmanlara 100 puanı her bir çevresel etkinin önemini yansıtacak şekilde bu çevresel etkilere paylaştırmaları istenmiştir. Alternatif bir değerlendirme yöntemi olarak kullanılan hedefe ulaşma mesafesi yöntemindeki sonuçların uzmanlara sunulmasıyla verdikleri cevapları yeniden incelemelerine olanak tanınmıştır (Kortman ve diğ., 1994).

Finlandiya’da yapılan bir çalışmada; küresel ısınma, ozon tabakasının incelmeye, biyoçeşitlilik kaybı, radyoaktivite, ekolojik zehirlilik, kaynak tüketimi, fotokimyasal sis oluşumu, asitleşme, ötrofikasyon ve gürültü kategorileri ele alınmıştır. Çalışma AHP yönteminin kullanıldığı karşılıklı görüşmelerle yapılmıştır. Çalışmada en önemli çevresel etki kategorisinin en az ağırlıklandırılan kategorinin dokuz katı olduğu sonucuna varılmıştır (Puolamaa, 1996).

Japonya’da yapılan bir çalışmada (Nagata ve diğ., 1995) 242 paneliste bir anket düzenlenmiştir. Aynı anketin genişletilmiş şeklini Lindeijer 1997’de Avrupa’daki panelistlere göndermiştir. Anket farklı konuları (korumaya alınacak konuların seçilmesi ve ağırlıklandırılması, etki kategorilerinin ağırlıklandırılması) ve farklı yöntemleri (sıralama yöntemi, AHP yöntemi, puanları dağıtma yöntemi) kapsamıştır (Lindeijer, 1997). Panel yönteminde sonuçların ve soruların nasıl sorulduğuna karşı duyarlılığının araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır (Heijungs, 1994). Görünüşte basit olan soruların farklı şekillerde yorumlanabildiği görülmüştür. Landbank tarafından yapılan çalışmada soruların yorumlanmasındaki zorluklar belirtilmektedir (Wilson ve Jones, 1994).

3.6.1 Panelde uygulanacak yöntem ve değerlendirme yaklaşımı

Bir panel çalışması anket, karşılıklı görüşme ya da grup tartışmalarıyla yapılabilmektedir. Bu çalışmada çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırılmasında AHP yöntemine uygun olarak hazırlanan anket uygulanmıştır.

3.6.1.1 Anket yöntemi ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Anket yöntemi anket yoluyla ya da görüşmeler sonucunda katılımcılardan verilerin toplanmasıyla bilgi teminini kapsamaktadır. Bu çalışmada, anket Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilen ve çok ölçütlü karar verme tekniklerinden biri olan “Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)” uygulamasına olanak sağlayacak şekilde düzenlenmiştir.

AHP Yöntemi, karar vericinin karmaşık bir problemi algılama biçimini açıklayan ve problemi sistematik olarak çözmesine imkân sağlayan bir yöntemdir. Sistem yaklaşımına dayalı olan AHP, sistemi oluşturan elemanların birbirleriyle olan ilişkilerini ve sistem üzerindeki etkilerini belirlemek amacı ile sistemin yapısını hiyerarşik biçimde ortaya koymaktadır (Evren ve Ülengin, 1992).

Genelde karar verme süreçlerinde problem, değerlendirme ve seçim yapma sürecinin dikkate alınarak karar oluşturulmasına karşın AHP yöntemi, özgün değerlendirmeye ve seçim yapma sürecini yapılandırmaya imkân sağlayarak, söz konusu süreci iyileştirmekte ve geliştirmektedir (Saaty, 1980). İkili karşılaştırmalar ve yargılamalar sonucunda elemanların göreceli önemlerini ölçebilmek ve sayısal kararlara ulaşabilmek için güvenilir ve işleyebilir bir derecelendirme düzeyine ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda Saaty'nin önerdiği etkinliği saptanan dokuz tam (pozitif) sayı dizisinden oluşan ölçek (Çizelge 3.10), söz konusu ihtiyacı karşılayabilmektedir (Saaty, 1980; Saaty, 1989). Bu ölçek esas alınarak, hiyerarşinin her düzeyindeki elemanlar bir üst düzeyde yer alan her eleman için ikili karşılaştırılmaktadır (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.10: Karar elemanlarının göreceli önem derecelerini belirlemeye yönelik karşılaştırma ölçeği ve tanımları (Saaty, 1982).

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşdeğer önem	İki eleman amaca eşit olarak katkıda bulunur
3	Az miktarda daha fazla önem	Bir elemanın diğerine göre bir miktar daha fazla tercih edildiği tecrübe ve yargı söz konusudur.
5	Esaslı veya kuvvetli derecede önem	Bir elemanın diğerine göre kuvvetli bir biçimde daha fazla tercih edildiği tecrübe ve yargı söz konusudur
7	İspatlanmış ve çok kuvvetli derecede önem	Bir elemanın diğerine göre kuvvetli bir biçimde daha fazla tercih edilir ve onun üstünlüğü uygulamada açıkça görülmüştür
9	Mutlak ve aşırı derecede önem	Bir elemanın diğerine göre daha fazla tercih edilmesine ilişkin üstünlük en yüksek ihtimal derecesindedir.
2,4, 6, 8	İki yakın değer arasındaki orta değerler	Uzlaşma zamanında kullanılmak üzere gerekli olan ara değerlerdir.

Çizelge 3.11: Kriterlerin amaca göre ikili karşılaştırma matrisi.

	K_1	K_2	K_3		K_M
K_1	1	a_{12}	a_{13}		a_{1m}
K_2	a_{21}	1	a_{23}		a_{2m}
K_3	a_{31}	a_{32}	1		a_{3m}
.....				1	$a_{.m}$
K_M	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}		1

Bu işlemler hiyerarşinin en üst düzeyinden başlanarak tüm düzeylerde tekrarlanmaktadır. Böylece her düzeydeki elemanların göreceli önemleri belirlenmiş olur. Amaç için kriterlerin ikili karşılaştırılmaları yapılacağı zaman, karar vericiden “amaç için kriterlerden hangisi daha önemlidir ve önem derecesi nedir” sorularını cevaplandırması istenmektedir (Saaty, 1982). Karar verici birinci soruya cevap ararken kriterlerin amaç üzerindeki etkisini ikili olarak karşılaştırarak kriterleri önem sırasına koymaktadır. İkinci sorunun cevabında ise belirlenen bu önem sırası sayısal olarak ifade edilmektedir. Böylece karmaşık ilişkiler içindeki her kriterin göreceli önem derecesi hakkındaki düşünceler ve sezgiler sayısal yargılara dönüştürülmüş olmaktadır. Tüm kriterler için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra bu

matrisin görelî önemler vektörü ve en büyük öz değeri bulunmaktadır. Söz konusu vektör, elemanların görelî önemlerini ortaya koymaktadır. Öz değeri ise, oluşturulan yargının tutarlılığının ölçülmesini sağlamaktadır (Deniz, 1999). Tutarlılık ölçüsü olarak, tutarlılık göstergesi kullanılmaktadır (Saaty, 1982). Bu gösterge, ikili karşılaştırma matrisinin tam tutarlılık durumunda sağlanan tutarlılıktan sapma derecesini ortaya koyar. Kabul edilebilir bir tutarlılık için bu oranın genel olarak % 10 veya daha düşük bir değerde olması tercih edilmektedir (Evren ve Ülengin, 1992). Aksi durumda, karşılaştırma elemanları ile ilgili yeni bilgilerin sağlanması, bilgilerin tutarlılığının geliştirilmesi ve ikili karşılaştırma matrisinin yeniden gözden geçirilip yargılamalara ilişkin tutarsızlıkların iyileştirilmesi gerekmektedir (Deniz, 1999).

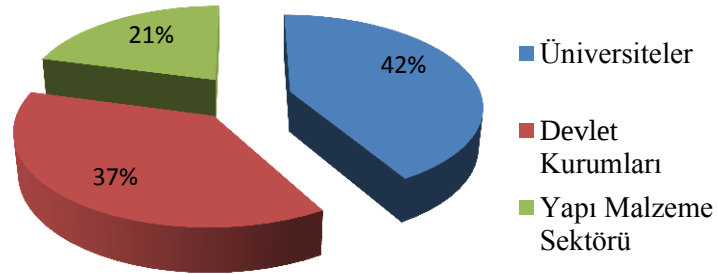
AHP'nin en büyük avantajlarından biri karar alıcıların tutarsızlık ve rastgele oluşturulmuş dizin oranını "tutarsızlık katsayısı" olarak hesaplamasıdır. Bu katsayı karar alıcının yargılarının tutarlı ve nihai kararının iyi yapılmış olduğunu göstermesi açısından önemlidir. Bu tutarsızlık katsayısı 0.10'dan küçük olmalıdır (Saaty, 1980). Saaty, Cheng ve Li farklı matrisler için kabul edilebilir tutarsızlık katsayısını, 3x3 matrisler için 0.05, 4x4 matrisler için 0.08 ve daha büyük matrisler için 0.10 olarak belirlemiştir. Eğer tutarlılık katsayısı bu değerlerden küçük ise, ağırlıklandırma sonuçları geçerli ve tutarlıdır (Saaty, 1994; Cheng ve Li, 2002).

3.6.2 Uzman grup üyelerinden oluşturulan panelistlerin belirlenmesi

Panelistler araştırılan konuya bağlı olarak uzmanlardan, paydaşlardan ya da profesyonel olmayan kişilerden oluşabilmektedir. Cheng ve Li'ye göre, AHP yöntemine göre hazırlanan bir anket çok fazla katılımcıya uygulandığında ve bu katılımcılar rastgele cevaplar vermeye eğilimli olduğunda yüksek derecede tutarsızlığa sahip olabileceğinden doğru olmayabilir. Bu nedenle, yaptıkları çalışmada yapım sektöründen 9 uzmana hazırladıkları anketi uygulamıştır (Cheng ve Li, 2001). Whong ve Li'de yaptıkları çalışmada AHP'nin uygulanmasında oluşturulacak örnek grubun çok büyük olmasına gerek olmadığını belirtmiştir (Wong ve Li, 2008). Türkiye koşullarının esas alındığı bu çalışmada da, panelistlerin sayısından çok çevresel konularda uzman kişilerin belirlenmesine önem verilmiştir. Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırılması için uzman panelistler, üniversitelerin çevre mühendisliği bölümlerindeki akademisyenlerden, devlet kurumlarından ve Türk yapı malzemesi sektöründeki çevre uzmanlarından oluşturulmuştur (Ek B).

- Üniversiteler; İstanbul Teknik Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Marmara ve Uludağ Üniversiteleri çevre mühendisliği bölümlerinden akademisyenler
- Devlet Kurumları; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü, Deniz ve Atık Hizmetleri Müdürlüğünden, TUBITAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü,
- Türk yapı malzemesi sektörü; Türkiye İnşaat Malzemeleri Sanayicileri Derneği (IMSAD), Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Akçansa, Ytong, BASF, Trakya Cam

Toplamda her bir gruptan eşit olmak üzere 30 uzman panelistle görüşülmüştür. Ancak değerlendirmelerinde tutarlı olan 24 panelistin 10'u üniversitelerdeki akademisyenlerden, 9'u kamu kurumlarından ve 5'i yapı malzemesi sektöründeki çevre uzmanlarından oluşmaktadır. Altı panelist yapılan değerlendirmeler sonucu anket dışı bırakılmıştır. Şekil 3.2'de değerlendirmeleri geçerli bulunan panelistlerin gruplara göre dağılımı gösterilmektedir



Şekil 3.2: Uzmanlardan oluşan ve tutarlı olan panelistlerin gruplara göre dağılım yüzdeleri.

3.6.3 Anketin geliştirilmesi ve panelistlerle görüşme

AHP yöntemine uygun olarak hazırlanan ankette panelistlere 11 çevresel etki kategorisi için 55 ikili karşılaştırma sorusu sorulmuştur. Ankete geçmeden önce katılımcılara bu kategoriler ile ilgili ön yargıya sebep olmayacak şekilde hazırlanmış özet bilgiler verilmiştir (EK A). Panelistlerden Türkiye için bu kategorilerin önem derecelerini birbirleriyle karşılaştırılması istenmiştir. Burada AHP yöntemine uygun

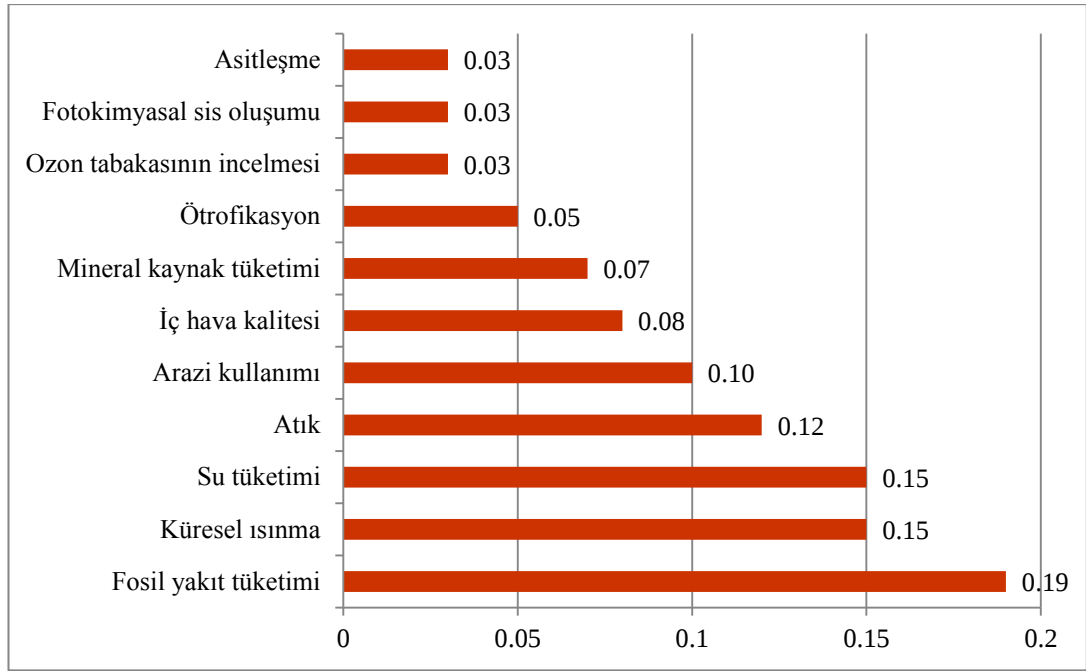
9'lu ölçek kullanılmıştır. Her bir panelistle yüz yüze yapılan görüşmeler sonucunda veriler elde edilmiştir.

3.6.4 Panelde uygulanacak yöntem ve değerlendirme yaklaşımı

Anketin uygulanmasında ve analiz edilmesinde AHP yönteminin kullanıldığı Super Decisions programı kullanılmıştır. Bu programın avantajlı taraflarından birisi, analiz sırasında “tutarsızlık katsayısını” vermesidir. 30 uzman panelistten altısının verdiği cevaplar programa girildiğinde tutarsızlık katsayısı 0.1 den büyük çıktığı için bu anketler değerlendirme dışı bırakılmıştır. 24 panelist için seçilen 11 çevresel etki kategorisinin ağırlıklandırma katsayıları belirlenmiştir.

AHP yönteminde, yapılan çalışma sonunda verilecek karar birçok kişiyi etkileyecek yapıda ise ikili karşılaştırma karar matrisleri farklı kişilerin yargılarının birleştirilmesi ile oluşturur. Bu birleştirme işleminde birçok araştırmacı, tutarlı ikili karşılaştırma matrisleri elde edebilmek için sonuçları arasındaki oransal (nispi) farkların mutlak farklardan daha önemli olduğu durumlarda kullanılan geometrik ortalama yönteminin kullanılmasını önermektedir (Saaty, 2000; Tam ve diğ., 2001). Geometrik ortalama, diğer bir ifade ile sonuçların her biri bir önceki sonuca bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada da farklı panelistlerden elde edilen sonuçlar için ortalama alınırken geometrik ortalamalar esas alınmıştır.

Genel ortalama, akademisyenlere göre, kamuda çalışan çevre uzmanlarına göre ve yapı malzemesi sektöründeki çevre uzmanlarına göre ağırlıklandırma katsayıları hesaplanmıştır. On bir çevresel etki kategorisinin 2013 yılı için genel ağırlıklandırma katsayıları Şekil 3.3'de, panelist gruplara göre belirlenen ağırlıklandırma katsayıları Çizelge 3.12'de verilmektedir.

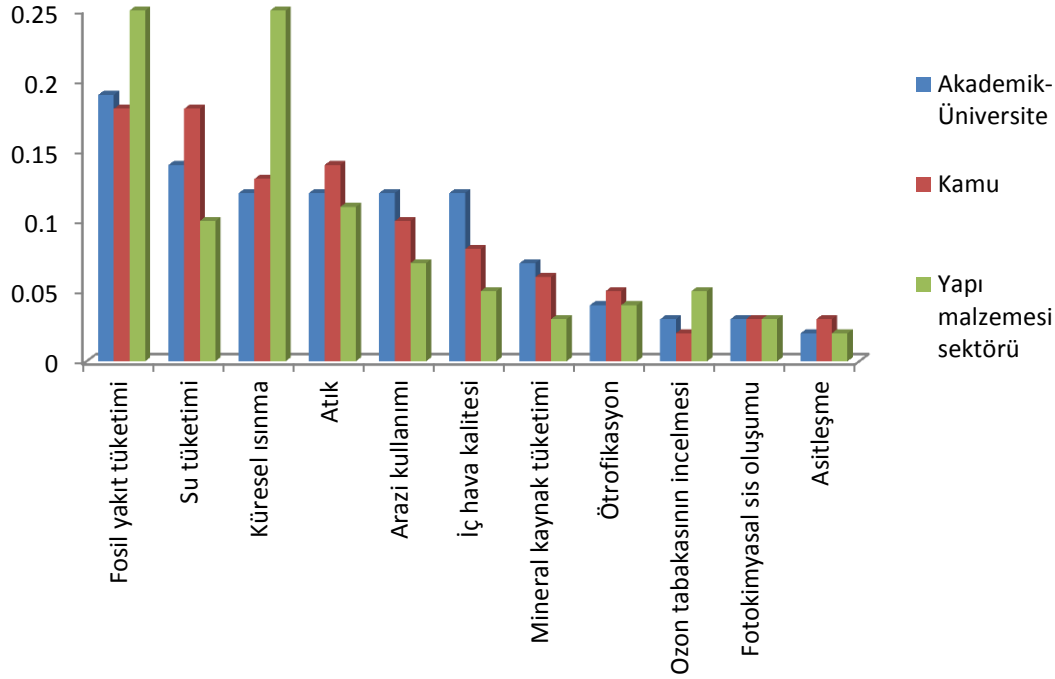


Şekil 3.3: Türkiye için belirlenen çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırma katsayıları.

Çizelge 3.12: Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırma katsayılarının panelist gruplara göre karşılaştırılması.

	Akademik- Üniversite	Kamu	Yapı Malzemesi Sektörü
Fosil yakıt tüketimi	0.19	0.18	0.25
Su tüketimi	0.14	0.18	0.10
Küresel ısınma	0.12	0.13	0.25
Atık	0.12	0.14	0.11
Arazi kullanımı	0.12	0.10	0.07
İç hava kalitesi	0.12	0.08	0.05
Mineral kaynak tüketimi	0.07	0.06	0.03
Ötrofikasyon	0.04	0.05	0.04
Ozon tabakasının incelmesi	0.03	0.02	0.05
Fotokimyasal kirli sis oluşumu	0.03	0.03	0.03
Asitleşme	0.02	0.03	0.02

YDED TR modelinde hesaplanan ağırlıklandırma katsayılarının panelist gruplara göre karşılaştırılması Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4: Ağırlıklandırma katsayılarının panelist gruplara göre karşılaştırılması.

3.7 Gruplandırma

Sıralama (derecelendirme) ve sınıflandırma olarak yapılabilen gruplandırma adımı, yorumlamanın daha iyi yapılmasını sağlamaktadır. Türkiye için önerilen modelde YDED sonuçlarının değerlendirilmesini kolaylaştırmak için 11 çevresel etki kategorisi ağırlıklandırma sonuçlarına göre;

- Yüksek riskli çevresel etki kategorileri; fosil yakıt tüketimi, küresel ısınma, su tüketimi ve atık
- Orta riskli çevresel etki kategorileri; arazi kullanımı, iç hava kalitesi, mineral kaynak tüketimi
- Düşük riskli çevresel etki kategorileri; ozon tabakasının incelmesi, asitleşme, fotokimyasal kirli sis oluşumu ve ötrofikasyon

olarak derecelendirilmektedir. Türkiye için önerilen YDED modelinde 11 çevresel etki kategorisi YDE analizinden gelen verilerin düzenlenmesini kolaylaştırmak

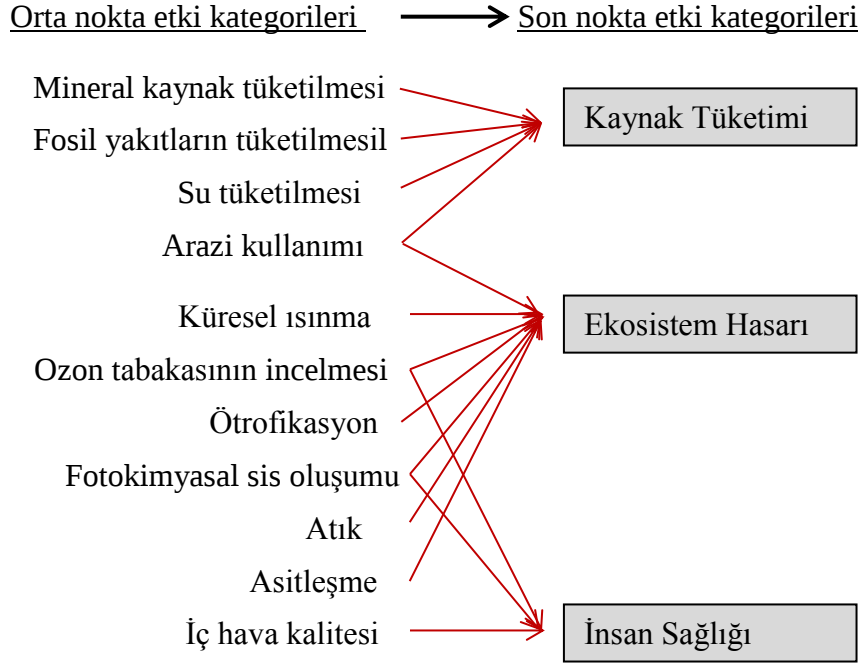
amacıyla girdilerle ve çıktılarla ilgili çevresel etki kategorileri olarak sınıflandırılmaktadır (Çizelge 3.13).

Çizelge 3.13: YDED TR modelinde çevresel etki kategorilerinin sınıflandırılması.

Çevresel etki kategorileri	Ağırlıklandırma sonuçlarına göre derecelendirilen etki kategorileri		
	Yüksek riskli	Orta Riskli	Düşük Riskli
Girdilerle ilgili çevresel etki kategorileri	Mineral kaynak tüketimi	x	
	Fosil yakıt tüketimi	x	
	Su tüketimi	x	
	Arazi kullanımı	x	
Çıktılarla ilgili çevresel etki kategorileri	Atık	x	
	Ötrofikasyon		x
	Fotokimyasal sis oluşumu		x
	Asitleşme		x
	İç hava kalitesi	x	
	Küresel ısınma	x	
	Ozon tabakasının incelmesi		x

Ayrıca bu etki kategorileri ekosisteme yapılan etkiler, kaynak tüketimi ve insan sağlığına yapılan etkiler olarak 3 grupta sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma bir son nokta yaklaşımının geliştirilmesine olanak tanıyacak, seçilen orta nokta etki kategorilerine göre son nokta etki kategorilerini belirlemektedir. Buna göre mineral kaynak tüketimi, fosil yakıtların tüketilmesi, su tüketilmesi ve arazi kullanımı kaynak tüketimi kategorisine; arazi kullanımı, küresel ısınma, ozon tabakasının incelmesi, ötrofikasyon, fotokimyasal sis oluşumu, atık ve asitleşme ekosistem hasarı

kategorisine, ötrifikasyon, fotokimyasal sis oluşumu ve iç hava kalitesi insan sağlığı kategorisine gruplandırılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Seçilen orta nokta etki kategorilerinin son nokta etki kategorilerine gruplandırılması.

3.8 Toplam Çevresel Performans Değerinin Hesaplanması

Türkiye için önerilen YDED modelinde toplam çevresel performans değerini hesaplamak için ISO 14040 standardını esas almasından, normalleştirme ve ağırlıklandırma adımını içermesinden dolayı yapı malzemesi sektörü için geliştirilmiş 3.2’de verilen bağıntı (Lippiatt, 2007) kullanılmaktadır. Bu bağıntı sayısal olarak ifade edilmese de ISO 14044’de (2006) yer almaktadır.

Bu bağıntıya göre;

$$\text{Top. Çev. Değer}_j = \sum_{k=1}^p \text{EDPuan}_{jk} \quad 3.2$$

Top. Çev. Değer_j = farklı j yapı malzemeleri için toplam çevresel performans değeri;

p = çevresel etki kategori sayısı;

EDPuan_{ijk} = farklı j yapı malzemeleri için k çevresel etkisi ile ilgili ağırlıklandırılmış ve normalleştirilmiş etki değerlendirme puanı:

$$EDPuan_{ijk} = \frac{ED_{jk} * WF_k}{NF_k} \quad 3.2a$$

WF_k = k çevresel etki kategorisi ile ilgili ağırlıklandırma katsayısı;

NF_k = k çevresel etki kategorisi ile ilgili normalleştirme katsayısı;

ED_{jk} = farklı j yapı malzemeleri için k çevresel etkisi ile ilgili ham etki değerlendirme puanı:

$$ED_{jk} = \sum_{i=1}^n I_{ij} * CF_i \quad 3.2b$$

n = k çevresel etkisi ile ilgili salım sayısı;

i = salım;

I_{ij} = farklı j yapı malzemeleri için i salımıyla ilgili YDE analizinden gelen kg cinsinden salım miktarı;

CF_i = i salımını kategori göstergesi referans salımına dönüştürme katsayısıdır.

Bu modelde kullanılan bağıntıda; YDE analizinden gelen toplam salım miktarları, çevresel etki kategorisi ile ilgili salımı kategori göstergesi referans salımına dönüştürme katsayısı (CF), normalleştirme katsayıları (NF) ve ağırlıklandırma katsayıları (WF) yerel faktörlerin etkili olduğu bölgelere göre değişen değerlerdir.

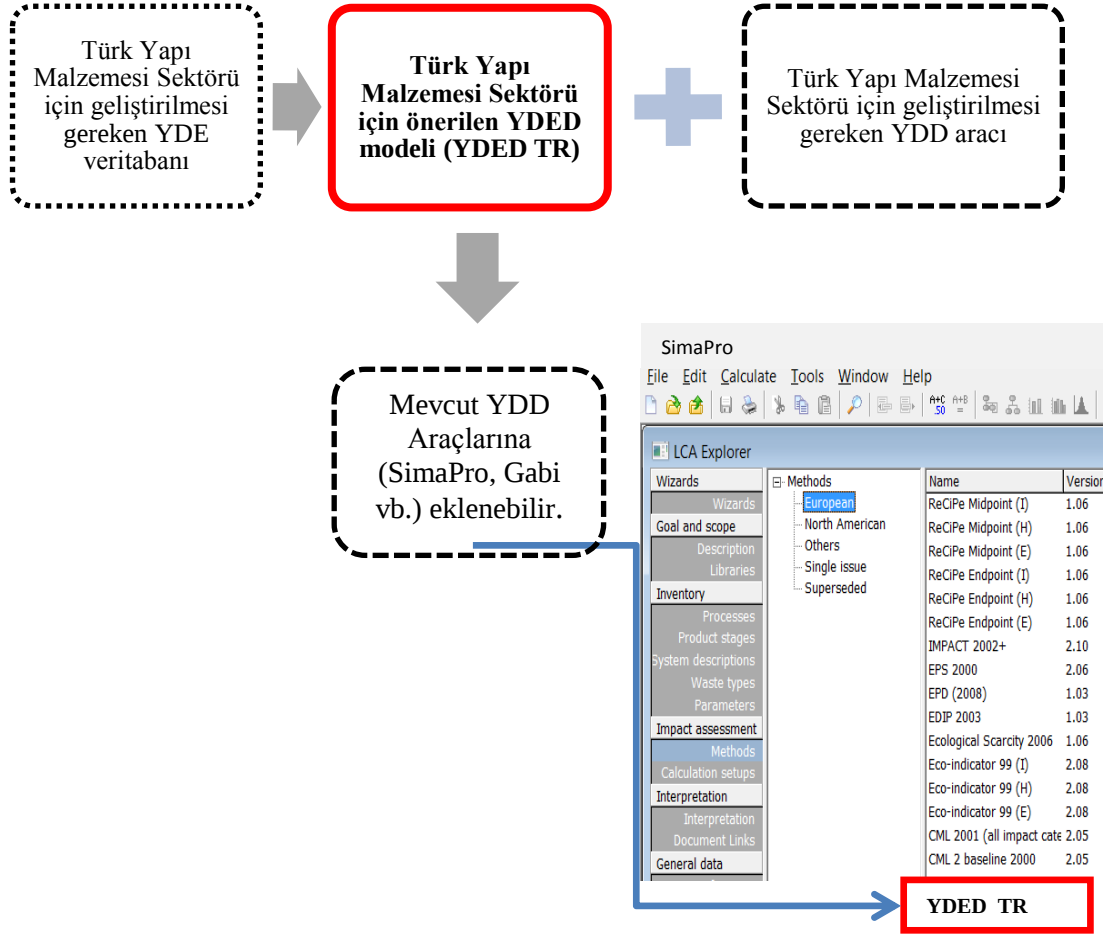
3.9 Modelin Değerlendirilmesi

Türkiye için önerilen YDED modelinin faydaları, kısıtlamaları ve süreçte karşılaşılan zorluklar belirlenmiş, model YDED'nin adımları açısından değerlendirilmiştir.

Orta nokta yaklaşımının seçildiği bu modelin faydalarından birisi, yapı malzemelerinin çevresel etkilerini hesaplama konusunda yerel faktörlerin çok fazla dikkate alınmadığı Türkiye’de YDED çalışmaları için bir başlangıç olabilmesidir. Modelde, Türkiye’ye özgü YDED verileri (YDE salımlarını kategori göstergesi salımına dönüştürme katsayıları, ağırlıklandırma katsayıları ve normalleştirme referans değerleri) belirlenerek ve hesaplanarak yerel çevresel sonuçların elde edilmesi konusunda tezin giriş bölümünde belirlenen amaçlarına büyük oranda ulaşıldığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada önerilen YDED modeli, YDE veritabanı için gerekli çevresel verilerin ve veri kaynaklarının belirlenmesi için fayda sağlamaktadır. Seçilen çevresel etki kategorilerine sınıflandırılan salımlar ve kaynaklar Türk YDE veritabanının geliştirilmesinde kullanılabilir. Bu modelin faydalarından bir diğeri, ileriki çalışmalarda her iki yaklaşımın avantajlarının kullanıldığı orta nokta ve son nokta yaklaşımını birleştiren bir modelin oluşturulmasına olanak tanınmasıdır. Ayrıca EN 15804 standartlarının kullanılması model sonuçlarının Avrupa ülkeleri ile karşılaştırılabilmesini sağlamaktadır.

Bu modelin kısıtlamalarından birisi, önerilen YDED modelinin kullanılması için gerekli, Türkiye için yapı malzemelerinin Yaşam Döngüsü Envanter analizine yönelik henüz bir veritabanının olmamasıdır. Bu veritabanının oluşturulması zaman alacaktır. YDED TR modeli, bu veritabanı oluşturulana kadar farklı ülkelerin geliştirdikleri YDED modellerini içeren mevcut YDD araçlarına eklenebilir. Türk yapı malzemesi sektörü için en doğru sonuç, Türkiye’ye özgü YDE veritabanının ve YDED modelinin kullanılmasıyla elde edilse de bu çalışmada önerilen model, veritabanı oluşturulana kadar en azından YDED evresi için Türkiye’ye özgü bir değerlendirme yapılabilmesini sağlayacaktır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Türk yapı malzemesi sektörü için geliştirilen modelin kullanılabilirliği.

Yapılan bu çalışmada YDE ve YDED evreleri için gerekli, Türk yapı malzemesi sektörüne ait çevresel veri eksikliği süreçte karşılaşılan en önemli zorluktur. Çevresel veri eksikliğinde;

- Türk yapı malzemesi sektöründeki üreticilerin ve sanayi kuruluşlarının yapı malzemesi üretimi ve yapı malzeme içeriklerindeki verileri (girdi miktarları), salım ve atık konusundaki verileri (çıktı miktarları) yayınlamada isteksiz olmalarının; çevre ile ilgili konularda farkındalık, duyarlılık ve bilinç seviyelerinin yeterli olmamasının,
- Türkiye'ye özgü veritabanı modeli ile ilgili sınırlı sayıda akademik çalışmanın bulunması ve bu çalışmaların hayata geçirilmemesinin,
- Yasa ve yönetmeliklerin bu konuda yaptırımlarının yetersiz olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

3.9.1 Çevresel etki kategorileri açısından değerlendirilme

Türk yapı malzemesi sektörü için geliştirilen YDED modeli, seçilen çevresel etki kategorileri ile yerel çevresel sonuçların Avrupa ülkelerindeki çevresel sonuçlarla karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır.

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi ideal olarak tüm çevresel etkilerin göz önünde bulundurulduğu bir dizi çevresel etki kategorisini içermelidir. Ancak yapı malzemeleri söz konusu olduğunda bütün çevresel etki kategorilerinin kapsam içine alınması zordur. Çok farklı yapı malzeme çeşidinin olması, yaşam döngüsü içinde çok farklı süreçlerin olması ve bir yapı malzemesinin diğer ürünlerden farklı olarak yaşam ömrünün uzunluğu bir etki kategorisi için kapsamlı bir veritabanı gerektirmektedir. Bu verilerin eksikliği Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerdeki YDD çalışmalarında büyük bir problemidir.

Yapı malzemeleri ile ilgili YDED modelleri ve Türkiye için önerilen YDED modellerinin tümünde; küresel ısınma, ozon tabakasının incelmeye, ötrofikasyon, asitleşme, fotokimyasal sis oluşumu ve fosil yakıtların tüketilmesi kategorilerinin ele alındığı görülmektedir (Çizelge 3.14). Yapı malzemelerine ait çevresel sonuçların küresel anlamda karşılaştırılması için seçilen çevresel etki kategorilerinde fikir birliğine varılması önemlidir. Mevcut YDED modelleri gerekli çevresel verileri ve modellemeleri yaparak zaman içinde güncellemeler yapmakta ve bazı etki kategorilerini modele eklemektedir. Türkiye için seçilen 11 çevresel etki kategorisi yapı malzemelerinin yaşam döngüsünde etkili olan ve Türkiye için önemli olan kategorilerdir. Bu çalışmanın devamında iyon radyasyonu, gürültü, koku gibi yapı malzemelerinin yaşam döngüsünde etkili olan diğer çevresel etki kategorileri eklenerek model güncellenebilir. Çizelge 3.14’de yapı malzemeleri ile ilgili YDED modelleri ve YDED TR modelinde seçilen çevresel etki kategorileri gösterilmektedir.

Çizelge 3.14: Yapı malzemeleri ile ilgili YDED modellerinde ve YDED TR modelinde seçilen çevresel etki kategorileri.

	YDED Modelleri					
	BEES	BRE-EP	BPIC- ICIP	Athena	BEPAS	YDED TR
Küresel ısınma	x	x	x	x	x	x
Ozon tabakasının incelmesi	x	x	x	x	x	x
Ötrofikasyon	x	x	x	x	x	x
Asitleşme	x	x	x	x	x	x
Fotokimyasal sis oluşumu	x	x	x	x	x	x
Fosil yakıtların tüketilmesi	x	x	x	x	x	x
Arazi kullanımı	x		x			x
Mineral kaynak tüketilmesi	x	x	x		x	x
Su tüketimi	x	x	x		x	x
Atık		x			x	x
İç hava kalitesi	x		x			x
İnsan zehirlenmesi		x	x			
Ekolojik zehirlenme	x		x		x	
İnsan sağlığı	x			x		
İyon radyasyonu			x			
Gürültü			x			
Partikül madde oluşumu					x	
Hava kirleticileri	x					
Ulaşım kirliliği		x				

3.9.2 Tanımlama modelleri ve kategori göstergeleri açısından değerlendirilme

Türk yapı malzemesi sektörü için geliştirilen YDED modeli, seçilen tanımlama modelleri ve kategori göstergeleri ile çevresel sonuçların Avrupa ülkeleri arasında karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır.

Tanımlama modelleri ile ilgili Türkiye’de yapılan çalışmaların yetersiz olması, yapı malzemesi sektörü için önerilen YDED modelinin karşılaştığı zorluklardan biridir. Bu modellerden elde edilen ve her bir kategori için salımları tek bir eşdeğere çeviren dönüştürme katsayıları, ülke ya da bölgelere göre değişmektedir. Bu konu çevresel uzmanlık gerektirmektedir. Bu nedenle yapı malzemelerini değerlendiren YDED modellerinin, mevcut YDED modellerinin kullandıkları dönüştürme katsayılarını esas aldıkları görülmektedir. Bu konuda yapı ve yapı malzemeleri ile ilgili YDD çalışmalarını yapan kişiler, çoğunlukla yerel veri eksikliği ile karşı karşıya

gelmektedir. YDED'nin bu adımı hem mevcut modellerde hem de Türkiye için olgunlaşmamıştır. Bu konudaki çalışmaların artırılması gerekmektedir.

3.9.3 Normalleştirme açısından değerlendirilme

Normalleştirme ISO 14040 standardına göre zorunlu olmayan adım olsa da, kategori göstergesi referans değerlerinin birimleri her bir etki kategorisi için farklı olduğunda, toplam çevresel puanın hesaplanması için zorunlu hale gelmektedir. Bazı YDED modellerinde tek bir çevresel etki kategorisi değerlendirildiğinden ya da çevresel etki değerlerinin parasal olarak ifade edilmesinden dolayı normalleştirme adımına ihtiyaç duyulmamaktadır. YDED TR modelinde bu evrenin kullanılması toplam çevresel performans değerinin hesaplanması için gereklidir.

Yapı alanına düşen çevresel yükün normalleştirme referans değeri olarak kullanılması, yapı malzeme sektörü için yapılan bu çalışmayı diğer ürünlerin çevresel etkilerini değerlendiren YDED modellerinden farklılaştırması açısından olumludur. Ancak bu değerlerin hesaplanması, Türkiye'deki veri eksikliğinden dolayı modeldeki belirsizlikleri artıracaktır. Ayrıca küresel anlamda YDED model sonuçlarının karşılaştırılabilmesi amacıyla da yapı malzemelerin çevresel etkilerini değerlendiren çoğu YDED modelinde olduğu gibi bir kişinin çevresel etkisi normalleştirme katsayısı olarak seçilmiştir.

3.9.4 Ağırlıklandırma açısından değerlendirilme

Türkiye yapı malzemesi sektörü için geliştirilen YDED modelinin önemli faydalarından biri, YDED modellerinde yerel faktörlerin öneminin ortaya konduğu ağırlıklandırma adımı için bir yöntemin geliştirilmesi ve çevresel etki kategorilerinin önem derecelerinin belirlendiği ağırlıklandırma katsayılarının hesaplanmasıdır.

Panel yöntemi açısından değerlendirilme

Ağırlıklandırma adımı Türk yapı malzeme sektörü için panel yöntemi kullanılmıştır. Panel yönteminin güvenilirliği çevresel etki kategorilerinin öznel değerlendirilmesini gerektirdiği için tartışılan bir konudur. Bu çalışmada panel yönteminin sonuçlarının analiz edilmesinde kullanılan AHP, her kategorinin birbiriyle karşılaştırılmasını sağlayarak panelistlerin verdiği kararlardaki tutarlılığının denetlenmesine izin veren bir yaklaşımdır. Nitekim 30 paneliste yapılan

anketlerden 6'sı cevaplardaki tutarsızlığı nedeniyle anket dışı bırakılmıştır. AHP yaklaşımı panel yönteminde güvenilirlik açısından avantaj sağlamaktadır.

Çevresel etki kategorilerinin önem derecesi ülkelere bağlı olarak değişebildiği gibi yıllara bağlı olarak da değişebilmektedir. Bu nedenle YDED TR modelinde ağırlıklandırma adımı için kullanılan panel yönteminin her yıl ya da belirli yıl aralıklarıyla yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada uygulanan yöntem tekrar edilebilir.

Panelistler açısından değerlendirilme

YDED'de çevresel etki kategorilerinin önem derecelerinin belirlenmesinde panelistlerin çevresel konularda uzman kişilerden seçilmesi ve ağırlıklandırma katsayılarının uzmanlar tarafından belirlenmesi yerel çevresel performans değerinin güvenilirliği açısından önemlidir.

Bu modelde üniversitelerden, kamudan ve yapı malzeme sektöründen seçilen panelistler Türkiye'deki çevresel konularda uzman kişilerden seçilmiştir. Üniversitelerden seçilen uzman panelistlerin tümü ve kamudan seçilen panelistlerin % 90'ı verdiği cevaplarda tutarlı olmasına rağmen yapı malzeme sektöründen seçilen çevre uzmanlarının % 50'si verdiği cevaplarda tutarsızdır. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği'nin Türk yapı malzemesi sektöründe faaliyet gösteren üreticilere hazırladığı anket çalışması sonucunda, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik konularının bu üreticilerin gündemlerine yeni yeni oturmakta olduğu sonucuna varılmıştır. Üreticilerin çalışanlarına eğitimler aldirmaya başladıkları; daha büyük ölçekli üreticilerde ise üretim ve ürün geliştirme süreçlerinde çevre ve sürdürülebilirlik konularına odaklanılmaya başlandığı ve bireysel çabalarla ürün geliştirme faaliyetlerinin yürütüldüğü belirtilmiştir. Çevre ve sürdürülebilirlik konularının yapı malzeme üreticileri tarafından maliyetleri artıran bir unsur olarak görüldüğü de belirtilmektedir (TOBB, 2011). Gelişmiş ülkelerde çevresel konular da dâhil olmak üzere birçok alanda üniversiteler, kamu ve sektör birlikte çalışmakta ve yapılan çalışmalar hayata geçirilebilmektedir. Oysa Türkiye'de sektör, çoğu zaman akademik çalışmalardan ve kamuda yapılan çalışmalardan habersiz olmakta ya da sonradan bilgilendirilmektedir. Bu da yapılan çalışmaların çoğunlukla hayata geçirilmesini geciktirebilmekte, fikir alışverişlerinin getireceği faydaları kısıtlayabilmektedir. Yapılan bu çalışmada, yapı malzemesi üreticilerinin çevresel

konularda farkındalıklarının, duyarlılıklarının ve çevre bilinçlerinin üniversiteler ve kamuda çevresel konularda çalışan kişilere göre daha az olduğu görülmüştür.

Ağırlıklandırma katsayıları açısından değerlendirilme

Türkiye için ağırlıklandırma katsayıları 2013 yılı için hesaplanmıştır. Ağırlıklandırma katsayıları hakkında sonuçlar fosil yakıt tüketiminin Türkiye için en önemli çevresel etki kategorisi olduğunu göstermektedir. Küresel ısınma, su tüketimi ve atık fosil yakıt tüketimini izlemektedir (Şekil 3.3). Türkiye'deki verilerin bu çalışmadaki ağırlıklandırma sonuçlarını desteklediği görülmektedir. Türkiye kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlarının büyük bir kısmını satın almaktadır ve enerji konusunda dışarıya bağımlıdır. Bu nedenle fosil yakıt tüketimi Türkiye için önemli olmaktadır. Bunun yanı sıra Türkiye'de yaşanan hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme faaliyetleri sonucunda günlük su tüketimi artmakta, kaynak ve yer altı su rezervlerinin azalması ile de içme ve kullanma suyu temininde yıllar itibarıyla yüzeysel su kaynaklarından çekilen su miktarında artış görülmektedir. Atık kategorisi için, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının yayınladığı rapor (2012) atığın 81 ilin 23'ünde birinci çevre problemi olduğunu ortaya koymaktadır.

Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırma katsayıları üniversitelerdeki akademisyenlerden alınan cevaplara göre değerlendirildiğinde genel ortalama sıralamasına yakın olduğu görülmektedir. Fosil yakıt tüketimi en büyük ağırlıklandırma katsayısına sahip, su tüketimi, küresel ısınma ve atık fosil yakıt tüketimini izlemektedir. Ötrofikasyon, ozon tabakasının incilmesi, fotokimyasal sis oluşumu ve asitleşme genel ortalamaya yakın olarak en düşük katsayılara sahiptir. Akademisyenler iç hava kalitesini genel ortalama sonucuna göre daha yüksek olarak ağırlıklandırmaktadır (Çizelge 3.12, Şekil 3.4)

Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırma katsayıları kamudaki çevre uzmanlarından alınan cevaplara göre değerlendirildiğinde sonuçların genel ortalama ve akademisyenlerin sonuçlarına yakın olduğu görülmektedir. Fosil yakıt tüketimi, su tüketimi, atık ve küresel ısınma en önemli çevresel etki kategorileri olarak görülmektedir. Ötrofikasyon, fotokimyasal sis oluşumu, asitleşme ve ozon tabakasının incilmesi diğer kategorilere göre daha az öneme sahip kategoriler olarak ifade edilmektedir. Ancak, kamudaki uzmanlar su tüketiminin Türkiye için fosil yakıt tüketimi kadar önemli olduğunu belirtmektedir (Çizelge 3.12, Şekil 3.4).

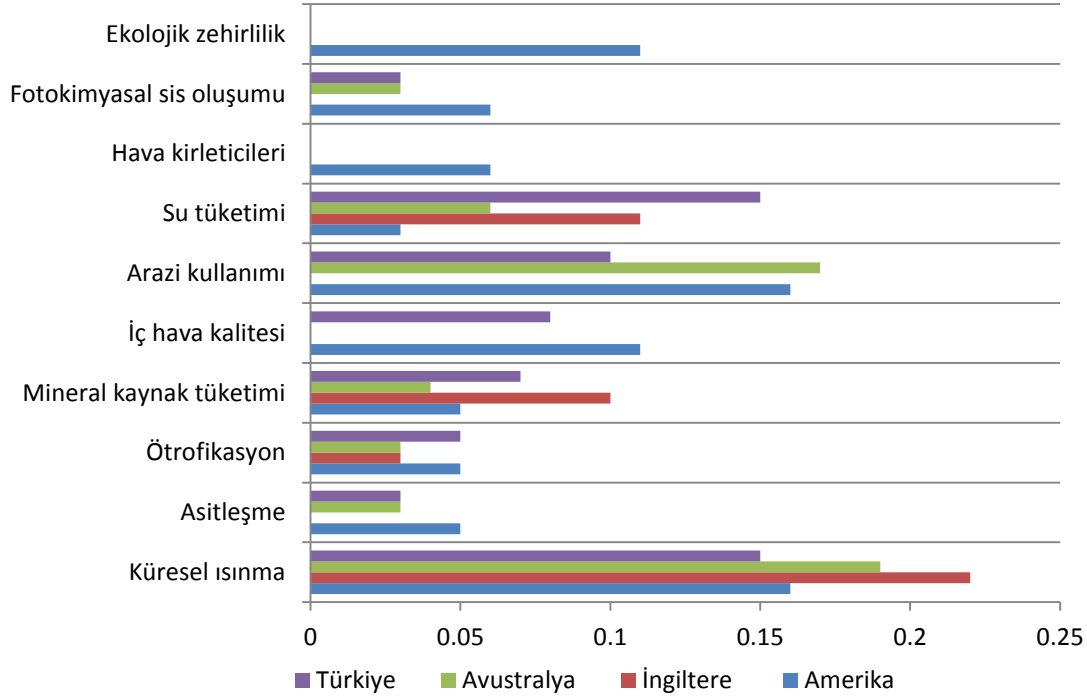
Yapı malzemesi sektöründeki çevre uzmanlarına göre en önemli ve daha az öneme sahip etki kategorilerinin sıralaması diğer iki gruba ve ortalamaya göre değişmemektedir. Ancak bazı kategorilerde diğer gruplara göre farklılıklar görülmektedir. Fosil yakıt tüketimi ve küresel ısınma kategorilerinin aynı önem derecesine sahip olduğu belirtilmekte; akademisyenler ve kamudaki uzmanlara göre bu kategorilerin daha önemli olduğu ifade edilmektedir. Bu gruptaki çevre uzmanları ozon tabakasının incelmesinin daha önemli olduğunu, mineral kaynak tüketimi, arazi kullanımı ve iç hava kalitesinin diğer gruplara göre daha az önemli olduklarını belirtmektedir (Çizelge 3.12, Şekil 3.4). Asitleşme, fotokimyasal sis oluşumu, ötrofikasyon ve atık için üç grubun verdiği cevaplar aynı ya da yakındır. Yapı malzemesi sektöründeki uzmanların fosil yakıt tüketimi ve küresel ısınma için belirlediği yüksek ağırlıklandırma katsayılarının, dünyanın en pahalı enerjisini kullanan Türkiye'deki enerji maliyetlerinin bu sektör üzerindeki etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir

Ağırlıklandırma katsayılarının Türkiye, Avustralya, İngiltere ve Amerika için karşılaştırılması Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'da gösterilmektedir. Bu grafiğe göre su tüketimi, fosil yakıt tüketimi ve atığın Türkiye için hesaplanan ağırlıklandırma katsayılarının diğer üç ülkeye göre daha yüksek; küresel ısınma, arazi kullanımı ve ozon tabakasının incelmeleri kategorilerinin Türkiye için hesaplanan ağırlıklandırma katsayılarının diğer üç ülkeye göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Küresel ısınma kategorisi için, 2011 yılı kişi başına düşen CO₂ salımına bakıldığında Avustralya için 19.0, Amerika için 17.3, İngiltere için 7.5 tondur (Olivier ve diğ., 2012), TÜİK'in verilerine göre Türkiye için bu değer 2011 yılı için kişi başı 5.7 tondur (TÜİK, 2012). Türkiye, dünya çapında kişi başına düşen CO₂ salımında alt sıralarda yer alsaydı da toplam CO₂ salımında 1960'da 31. Sıradayken, 1996'da 25. sıraya ve 2000 yılında 23. sıraya yükselmiştir. 1960 yılında en çok CO₂ emisyonu olan ülke %32'lik pay ile Amerika iken 2000 yılında bu pay %24.4'e düşmüştür. Türkiye'nin payı ise aynı süreçte %0.2'den %1'e çıkmıştır. Enerji talebindeki artışlar göz önünde bulundurulduğunda bu oranın daha da artması beklenmektedir (Tunç ve diğ., 2007). Bu verilere göre Türkiye'nin CO₂ salım miktarı diğer ülkelere göre daha azdır ve çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir.

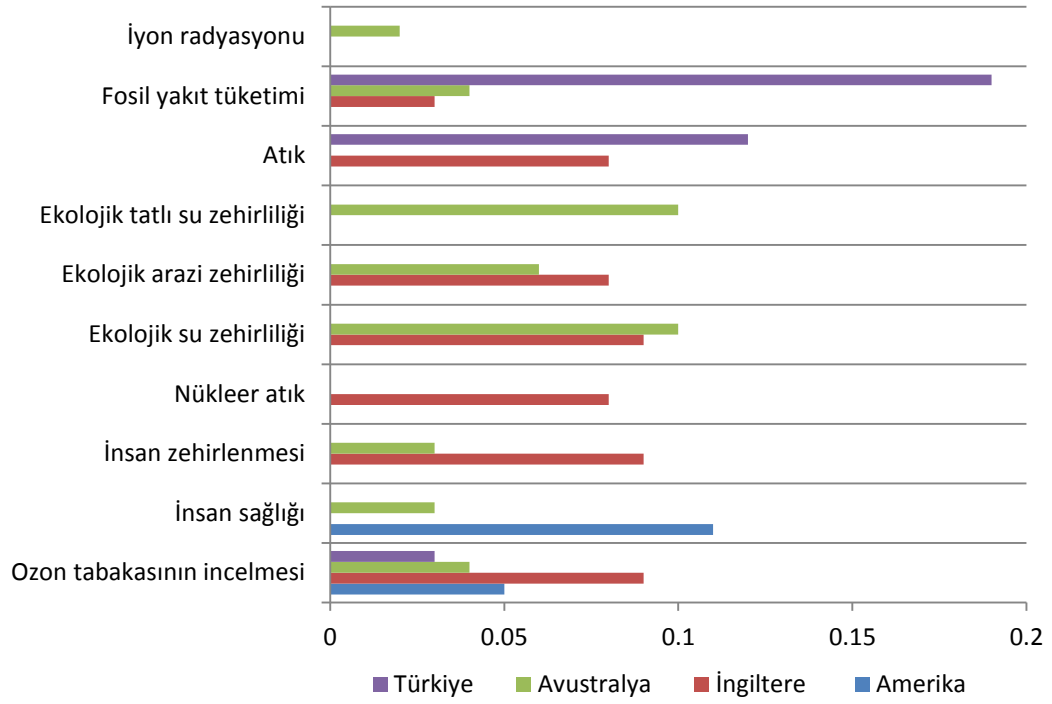
Bu çalışma Türkiye'de su tüketiminin diğer üç ülkeye göre önemli olduğunu göstermiştir. Dünya Kaynak Enstitüsü'nün (World Resource Institute- WRI, 2013)

yaptığı çalışmada ülkeler su kaynaklarına göre; oldukça yüksek, yüksek, orta ve düşük su sıkıntısına sahip ülkeler olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmaya göre Türkiye ve Avustralya yüksek su sıkıntısına sahip ülkeler arasında gösterilmiş, Amerika ve İngiltere orta dereceli su sıkıntısına sahip ülkeler arasında gösterilmiştir. Bu veriler su tüketiminin Türkiye için önemini desteklemektedir.



Şekil 3.7: Ağırlıklandırma katsayılarının ülkelere göre karşılaştırılması.

Ozon tabakasının incelmesi konusunda Montreal Protokolünün uygulanmasında Avustralya ve Türkiye, Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından ödüllendirilen ve başarılı bulunan ülkeler arasındadır (UNEP, 2014). Şekil 3.8’de bu kategori için iki ülkenin ağırlıklandırma katsayılarının diğer ülkelere göre daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8: Ağırlıklandırma katsayılarının ülkelere göre karşılaştırılması.

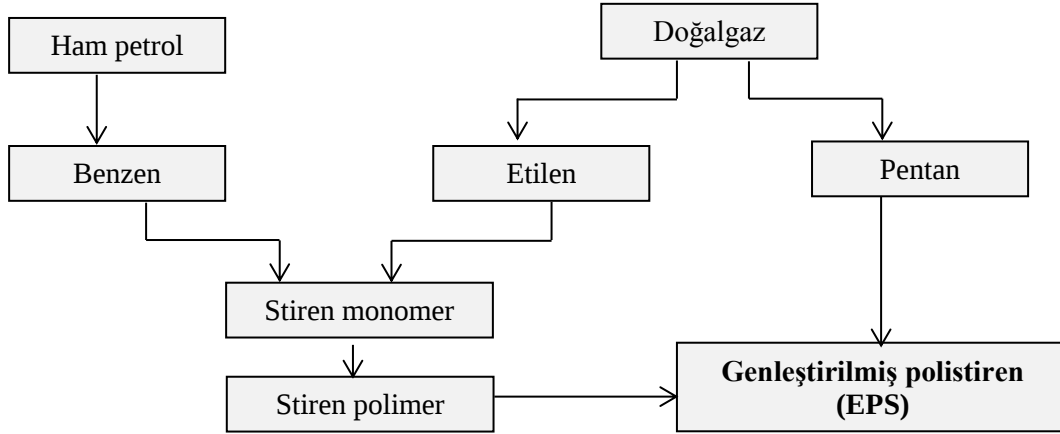
4. YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ DEĞERLENDİRMESİNE YÖNELİK MODELİN GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTİREN KÖPÜK (EPS) MALZEMESİ ÜZERİNDE SINANMASI

Bu bölümde “Türk yapı malzemesi sektörü için geliştirilen YDED modeli” ısı yalıtımında ülkemizde yaygın olarak kullanılan genleştirilmiş polistren köpük (EPS) üzerinde sinanmıştır. EPS’nin “beşikten kapıya” olarak tanımlanan hammaddenin çıkarılması ve malzeme üretim alanına ulaştırılması, EPS’nin üretimi, paketlenmesi ve inşaat alanına ulaştırılmasını kapsayan yaşam döngüsü süreci esas alınmıştır.

Yaşam Döngüsü Envanteri ile ilgili Türkiye’ye özgü verilerin henüz oluşturulmamış olmasından dolayı Sylvatica tarafından Athena Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü’ne (Athena Sustainable Materials Institute) hazırlanmış olan bir rapordan (Sylvatica, 1998) alınan veriler kullanılmıştır. Bu veriler, YDED evresinin ISO 14040 standardına göre zorunlu ve zorunlu olmayan adımları için kullanılmış, etki değerlendirme sonuçları Türkiye için hesaplanmıştır. Birçok YDED modeliyle sonuçların değerlendirilmesine olanak tanıyan “SimaPro” YDD aracı kullanılarak EPS üretim sürecindeki çevresel sonuçlar modeller arasında karşılaştırılmıştır.

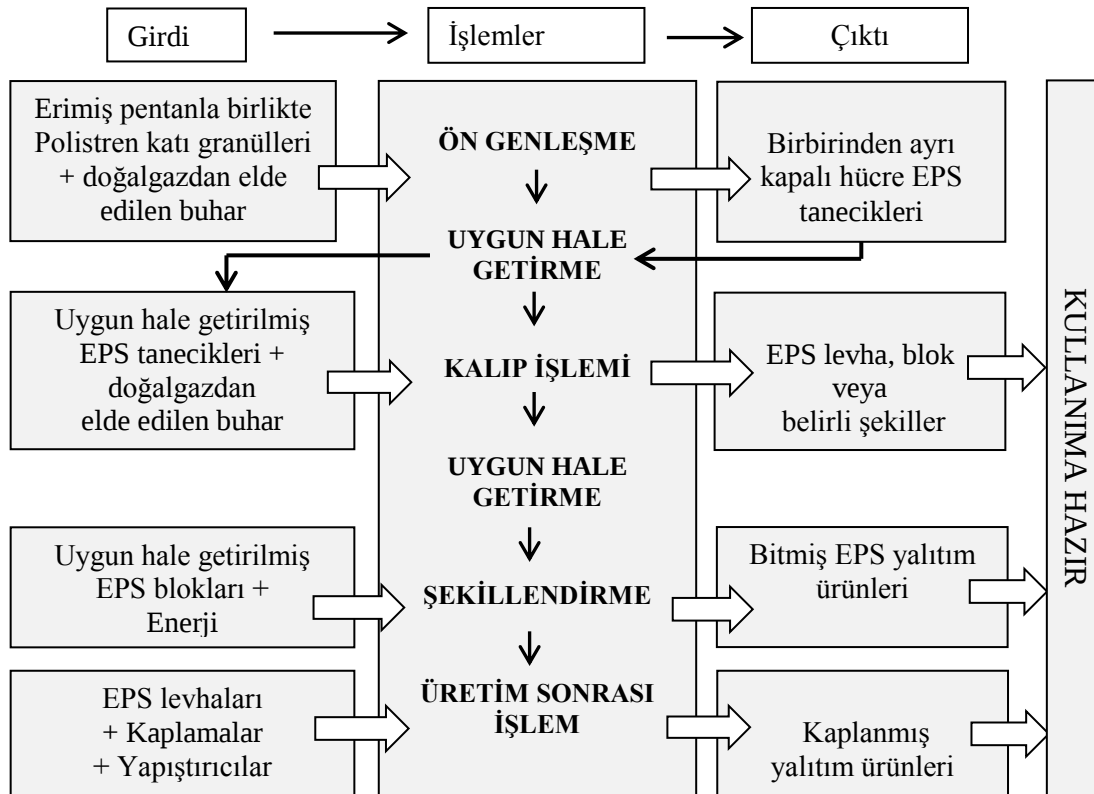
4.1 EPS’nin Üretim Süreci

EPS; polistirenin genleştirilmesiyle veya polistirenin diğer kopolimerlerinden oluşan taneciklerinin kalıplara konularak şişirilmesi ile üretimi gerçekleştirilen, içi hava dolu kapalı hücre yapısına sahip rijit hücresel plastik malzemedir (TS EN 13163, 2010). EPS’nin üretiminde kullanılan malzeme akış diyagramı Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1 : EPS'nin malzeme akış diyagramı (Amerikan Mimarlar Enstitüsü, 1998).

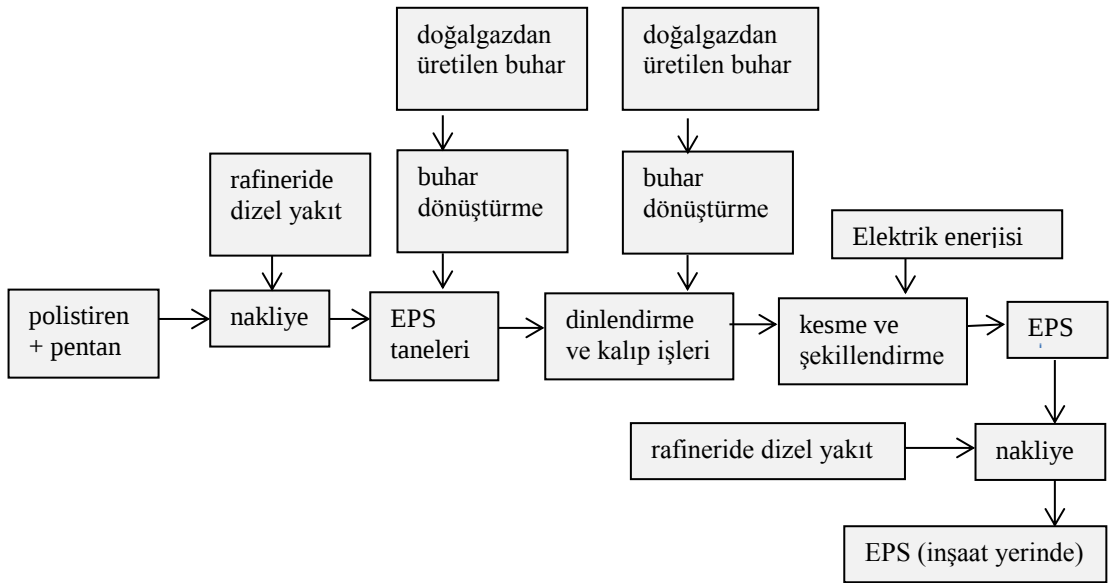
EPS, pentanın polistren temelli malzemenin içinde çözülmesi ve sonrasında EPS taneciklerinin buharla oluşturulması ve yalıtım plakaları, blokları veya paketleme endüstrisi için belirli şekillerin oluşturulması için bu taneciklerin kalıplaştırılması işleminden geçmesiyle meydana gelmektedir. Bu durumda EPS'nin yaşam döngüsü evrelerinden biri olan üretim süreci beş işlem sırasından oluşmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : EPS'nin üretim şeması (Avrupa EPS Üreticileri Derneği, 2009).

Ön genleşmede, polistren granüller birbiriyle bağlantısı olmayan hücreler serisinden oluşan daha büyük taneler oluşturmak üzere buharla genişletilir. Genleşme

işlemden 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. Taneler, plakalar veya bloklar oluşturmak üzere kalıp işleminde 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. 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 (Avrupa EPS Üreticileri Derneği, 2009). EPS'nin yaşam döngüsü süreçlerindeki girdi ve çıktılarının belirlenmesi için üretim sürecindeki akış diyagramının oluşturulması gerekir. Bu diyagram şekil 4.3'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3 : EPS envanter akış diyagramı (Gabi 4, YDD aracı).

4.2 EPS'nin YDED TR Modeline Göre Çevresel Etki Değerlendirmesi

YDED TR modeli Sylvatica tarafından Athena Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü'ne (Athena Sustainable Materials Institute) hazırlanmış olan bir rapordan (Sylvatica, 1998) alınan veriler doğrultusunda denenmiştir. Bu veriler Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1: EPS için veri tablosu (Sylvatica, 1998).

YDE analizi sonuçları		Birim	Toplam 1 Kg EPS için sonuç
Enerji	Doğalgaz	MJ	39.30
	Elektrik (fosil kaynaklı)	MJ	0.845
	Petrol	MJ	61.10
	Kömür	MJ	5.01
Kaynak tüketimi	Boksit	g	1.21
	Kil mineralleri	g	4.18
	Demir (cevher)	g	0.946
	Kireçtaşı	g	2.31
	Su	kg	30.60
Havaya salımlar	CO ₂	g	3590
	CO	g	9.68
	C _x H _y	g	20.60
	HCl	g	0.07
	Toz	g	3.61
	Ağır metaller	g	0.09
	HF	g	0.002
	NO _x	g	18.70
	SO _x	g	20.90
Suya salımlar	H ⁺ asitler	g	0.048
	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı	g	0.228
	Kimyasal oksijen ihtiyacı	g	1.32
	Cl ⁻	g	3.96
	C _x H _y	g	0.118
	Deterjan/yağ	g	0.077
	Çözünmüş organikler	g	0.055
	Çözünmüş katı maddeler	g	0.176
	Metalik iyonlar	g	0.385
	Na	g	0.693
	NH ₄	g	0.015
	Sülfat	g	0.132
	Katı maddeler	g	1.31

Çizelge 4.1 (devam): EPS için veri tablosu (Sylvatica, 1998).

Atık	Kimyasal atık	g	10.03
	Endüstriyel atık	g	3.52
	Cüruf/ kül	g	9.24
	Mineral atık	g	48.30

Bu veriler doğrultusunda ISO 14040 standardına göre YDED'nin zorunlu ve zorunlu olmayan adımları EPS için uygulanmıştır.

4.2.1 Yaşam Döngüsü Envanter Verilerinin Sınıflandırılması

YDED modelinde öncelikle veri tablosunda belirtilen girdi ve çıktılar Türkiye için seçilmiş 11 çevresel etki kategorisine sınıflandırılmaktadır (Çizelge 4.2). Ozon tabakasının incelenmesi, arazi kullanımı ve iç hava kalitesiyle ilgili envanter verileri belirtilmemiştir. Değerlendirme 8 etki kategorisi için yapılmıştır.

Çizelge 4.2: EPS verilerinin çevresel etki kategorilerine sınıflandırılması.

Çevresel etki kategorileri	Envanter verileri
Küresel ısınma	CO ₂
Fosil yakıt tüketimi	Doğalgaz, petrol, kömür, elektrik
Asitleşme	SO ₂ , NO _x , HCl, HF
Atık	Kimyasal atık, endüstriyel atık, cüruf/ kül, mineral atık
	Suya bırakılan atıklar; Deterjan-yağ, çözünmüş organikler, çözünmüş katı maddeler, katı maddeler
Su tüketimi	Su miktarı
Mineral tüketimi	Boksit, kil mineralleri, demir, kireçtaşı
Ötrifikasyon	NO _x , NH ₄ , COD
Fotokimyasal sis oluşumu	C ₂ H ₄ , CO
Ozon tabakasının incelenmesi	İlgili envanter verisi belirtilmemiştir.
Arazi kullanımı	İlgili envanter verisi belirtilmemiştir.
İç hava kalitesi	İlgili envanter verisi belirtilmemiştir.

4.2.2 Tanımlama

Her bir çevresel etki kategorisi ile ilgili salımların dönüştürme katsayısıyla tek bir eşdeğer salıma ya da birime dönüştürüldüğü tanımlama adımı için; 1 kg EPS'nin “beşikten kapıya” süreçteki ham (normalleştirilmemiş ve ağırlıklandırılmamış) etki değerlendirme puanı (ED_{jk}) hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, gram cinsinden verilen girdi ve çıktı miktarları kilograma çevrilmiştir. Üçüncü bölümde belirtilen 3.1'deki bağıntıya göre farklı j yapı malzemeleri için k çevresel etkisi ile ilgili ham (normalleştirilmemiş ve ağırlıklandırılmamış) etki değerlendirme puanı (ED_{jk});

$$ED_{jk} = \sum_{i=1}^n I_{ij} \times CF_i \quad 3.2b$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda;

n = k çevresel etkisi ile ilgili salım sayısı;

i = salım;

I_{ij} = farklı j yapı malzemeleri için i salımıyla ilgili YDE analizinden gelen kg cinsinden salım miktarı;

CF_i = i salımını kategori göstergesi referans salımına dönüştürme katsayısıdır.

Bu bağıntı YDED TR modelinde seçilen salım kaynaklı çevresel etki kategorileri için kullanılmaktadır.

Küresel ısınma çevresel etki kategorisi için;

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi küresel ısınmaya neden olan ve veri kaynağından gelen tek salım CO_2 'dir. CO_2 'in dönüştürme katsayısı 1'dir. Buna göre küresel ısınma için ham etki değerlendirme puanı aşağıda verilmiştir.

j= EPS; k= küresel ısınma; n= 1 (salım sayısı), i= CO_2 (salım), I_{ij} = EPS yapı malzemesi için CO_2 salımıyla ilgili YDE analizinden gelen kg cinsinden salım miktarı, CF_{CO_2} = CO_2 salımının kategori göstergesi referans salımına dönüştürme katsayısıdır.

$$ED_{EPS,küresel ısınma} = \sum_{i=1}^1 I_{CO_2,EPS} \times CF_{CO_2}$$

$$ED_{EPS,küresel ısınma} = \sum_{i=1}^1 3.59 \times 1 = 3.59 \text{ kg}/CO_2$$

Asitleşme çevresel etki kategorisi için;

SO₂, NO_x, HCl, HF envanterden asitleşme kategorisine sınıflandırılan salımlardır. 1 kg EPS'nin asitleşme kategori için ham etki değerlendirme puanı aşağıda verilmiştir.

$$ED_{EPS,asitleşme} = \sum_{i=1}^4 I_{SO_2,EPS} \times CF_{SO_2}$$

$$ED_{EPS,asitleşme} = \sum_{i=1}^4 [(0.02 \times 1) + (0.018 \times 0.7) + (0.00007 \times 0.88) + (0.000002 \times 1.6)] = 0.03 \text{ kg}/SO_2$$

Ötrifikasyon çevresel etki kategorisi için;

NO_x, NH₄, COD envanterden ötrifikasyon kategorisine sınıflandırılan salımlardır. 1 kg EPS'nin ötrifikasyon kategorisi için ham etki değerlendirme puanı aşağıda verilmiştir.

$$ED_{EPS,ötrifikasyon} = \sum_{i=1}^3 I_{PO_4,EPS} \times CF_{PO_4}$$

$$ED_{EPS,asitleşme} = \sum_{i=1}^3 [(0.018 \times 0.13) + (0.000015 \times 0.33) + (0.001 \times 0.022)] = 0.002 \text{ kg}/PO_4$$

Fotokimyasal sis oluşumu çevresel etki kategorisi için;

C₂H₄, CO envanterden fotokimyasal sis oluşumu kategorisine sınıflandırılan salımlardır. 1 kg EPS'nin ötrifikasyon kategorisi için ham etki değerlendirme puanı aşağıda verilmiştir.

$$ED_{EPS,fotokimyasal sis oluşumu} = \sum_{i=1}^2 I_{C_2H_4,EPS} \times CF_{C_2H_4}$$

$$ED_{EPS,asitleşme} = \sum_{i=1}^2 [(0.02 \times 1) + (0.009 \times 0.02)] = 0.02 \text{ kg/C}_2\text{H}_4$$

Fosil yakıt tüketimi çevresel etki kategorisi için;

Doğalgaz, kömür, petrol ve fosil yakıt kaynaklı elektrik tüketimi bu kategori için sınıflandırılmıştır. Ham etki değerlendirme puanı, envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımına göre tüketilen tüm fosil yakıt miktarlarının toplanmasıyla elde edilmiştir.

$$ED_{EPS,fosil yakıt tüketimi} = [39.3 + 0.84 + 61.1 + 5.01] = 106.25 \text{ MJ}$$

$$106.25 \text{ MJ} = 0.0026 \text{ TEP}$$

Atık çevresel etki kategorisi için;

Kimyasal atık, endüstriyel atık, cüruf/ kül, mineral atıklar ve suya bırakılan atıklar; deterjan-yag, çözülmüş organikler, çözülmüş katı maddeler, katı maddeler bu kategori içinde sınıflandırılmıştır. Ham etki değerlendirme puanı, envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımına göre oluşan atık miktarının toplanmasıyla elde edilmiştir.

$$ED_{EPS,atık} = [0.01 + 0.0035 + 0.009 + 0.048 + 0.00007 + 0.00005 + 0.0001 + 0.001] = 0.07 \text{ Ton}$$

Su tüketimi çevresel etki kategorisi için;

YDE'den gelen tüketilen su miktarı ham etki değerlendirme puanının eldesinde kullanılmıştır.

$$ED_{EPS,su tüketimi} = 30.60 \text{ litre} = 0.03 \text{ m}^3$$

Mineral kaynak tüketimi çevresel etki kategorisi için;

YDE'den gelen tüketilen mineral kaynak miktarı ham etki değerlendirme puanının eldesinde kullanılmıştır.

$$ED_{EPS,mineral kaynak tüketimi} = [0.0012 + 0.0041 + 0.00094 + 0.0023]$$

$$ED_{EPS,mineral kaynak tüketimi} = 0.008 \text{ g} = 0.000008 \text{ Ton}$$

Türkiye için 1 kg EPS'nin tanımlama sonuçları Çizelge 4.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3: Bir kg EPS'nin YDED TR modeline göre hesaplanan kategori gösterge sonuçları.

Çevresel etki kategorileri	Tanımlama (her bir kategori için salımların dönüştürme katsayısıyla tek bir eşdeğer salıma ya da birime dönüştürülmesi)	
Küresel ısınma	3.59	(CO ₂)
Fosil yakıt tüketimi	0.0026	(TEP)
Asitleşme	0.03	(SO ₂)
Atık	0.07	(Ton)
Su tüketimi	0.03	(m ³)
Mineral kaynak tüketimi	0.000008	(Ton)
Ötrifikasyon	0.002	(PO ₄)
Fotokimyasal sis oluşumu	0.02	(C ₂ H ₄)
İç hava kalitesi	İlgili envanter verisi bulunmamaktadır.	
Arazi kullanımı	İlgili envanter verisi bulunmamaktadır.	
Ozon tabakasının incilmesi	İlgili envanter verisi bulunmamaktadır.	

4.2.3 Normalleştirme

Farklı birimlere sahip etki kategorilerinin birimsizleştirilmesi, böylece kategori sonuçlarının toplanabilmesi ve farklı malzemelerin çevresel performanslarının karşılaştırılabilmesi için normalleştirme yapılmıştır. Çizelge 4.3'de tanımlama sonucunda belirtilen değerler, Türkiye için normalleştirme referans değerine (NF) bölünerek her bir çevresel etki kategorisi için normalleştirilmiş değerler hesaplanmıştır.

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{jk} = \frac{ED_{jk}}{NF_k} \quad 3.2b$$

Bu bağtıda;

NF_k = k çevresel etki kategorisi ile ilgili normalleştirme katsayısı;

ED_{jk} = Farklı j yapı malzemeleri için k çevresel etkisi ile ilgili ham etki değerlendirme puanıdır.

Küresel ısınma çevresel etki kategorisi için;

$NF_{\text{küresel ısınma}} = 2011$ yılı için kişi başına düşen sera salım miktarı TÜİK'den alınan verilere göre 5.71 ton/kişi ((5710 kg/kişi)'dir (TÜİK, 2013). Buna göre;

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{\text{EPS,küresel ısınma}} = \frac{ED_{\text{EPS,küresel ısınma}}}{NF_{\text{küresel ısınma}}}$$

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{\text{EPS,küresel ısınma}} = \frac{3.59}{5710} = 0.0006$$

Fosil yakıt tüketimi çevresel etki kategorisi için;

Türkiye enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımında fosil yakıt tüketimi toplam enerji tüketiminin % 89 udur. Türkiye'nin 2011 yılı toplam enerji tüketimi 114480.2 bin ton eşdeğer petrol (Btep)'dir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012). 2011 tarihi itibarıyla Türkiye nüfusu 74724269 kişidir (TÜİK, 2012). Buna göre;

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{\text{EPS,fosil yakıt tüketimi}} = \frac{ED_{\text{EPS,fosil yakıt tüketimi}}}{NF_{\text{fosil yakıt tüketimi}}}$$

Kişi başına düşen fosil yakıt tüketimi için normalleştirme katsayısı;

$$NF_{\text{fosil yakıt tüketimi}} = \frac{114480000 \times 0.89}{74724269} = 1.36$$

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{\text{EPS,fosil yakıt tüketimi}} = \frac{0.002}{1.36} = 0.0019$$

Atık çevresel etki kategorisi için;

TÜİK'in verilerine göre 2012 yılı için bir günde kişi başına düşen belediyelerce toplanan atık miktarı 1,12 kg (yılda 408 kg= 0.4 ton)'dur (TÜİK, 2014). Maden işletmelerinde ise 2012 yılı için 952 milyon ton atık (kişi başı 12.7 ton) olduğu belirtilmiştir. Maden işletmelerinde oluşan atığın %99.8'ini mineral kaynaklar oluşturmıştır (TÜİK, 2014).

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{\text{EPS,atık}} = \frac{ED_{\text{EPS,atık}}}{NF_{\text{atık}}}$$

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{\text{EPS,atık}} = \frac{0.07}{13.1} = 0.005$$

Su tüketimi çevresel etki kategorisi için;

TÜİK verilerine göre Türkiye'de kişi başına kullanılan su miktarı 217 litre (0.21 m³)'dür (TÜİK, 2010).

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{\text{EPS,su tüketimi}} = \frac{ED_{\text{EPS,su tüketimi}}}{NF_{\text{su tüketimi}}}$$

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{\text{EPS,su tüketimi}} = \frac{0.03}{0.21} = 0.14$$

Mineral kaynak tüketimi çevresel etki kategorisi için;

TBMM Araştırma Komisyonu'nun (2010) verilerine göre Türkiye'de kişi başına düşen mineral kaynak tüketimi 5 tondur.

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{\text{EPS,mineral kaynak tüketimi}} = \frac{ED_{\text{EPS,mineral kaynak tüketimi}}}{NF_{\text{mineral kaynak tüketimi}}}$$

$$\text{Normalleştirilmiş } ED_{\text{eps,mineral kaynak tüketimi}} = \frac{0.000008}{5} = 0.00$$

Türkiye'de normalleştirmenin yapılabilmesi için; ötrifikasyonda referans yılda kişi başına düşen ötrifikasyona neden olan salım miktarı (PO_4 eşdeğeri), asitleşme için referans yılda kişi başına düşen asitleşmeye neden olan salım miktarı (SO_2 eşdeğeri), fotokimyasal sis oluşumu için de kişi başına düşen fotokimyasal sis oluşumuna neden olan salım miktarı (C_2H_4 eşdeğeri) gereklidir.

Çizelge 4.4: Bir kg EPS için YDED TR modeline göre hesaplanan normalleştirilmiş etki değerlendirme puanı.

Çevresel etki kategorileri	Normalleştirilmiş etki değerlendirme puanı (her bir etki kategorisi birimsizleştirilmiştir.)
Küresel ısınma	0.0006
Fosil yakıt tüketimi	0.001
Asitleşme	Türkiye için NF hesaplanmalı
Atık	0.005
Su tüketimi	0.14
Mineral kaynak tüketimi	0.00
Ötrifikasyon	Türkiye için NF hesaplanmalı
Fotokimyasal sis oluşumu	Türkiye için NF hesaplanmalı
İç hava kalitesi	İlgili envanter verisi bulunmamaktadır.
Arazi kullanımı	İlgili envanter verisi bulunmamaktadır.
Ozon tabakasının incelenmesi	İlgili envanter verisi bulunmamaktadır.

4.2.4 Ağırlıklandırma

Çevresel etki kategorilerinin Türkiye için önem derecelerine göre belirlenen ağırlıklandırma katsayıları, normalleştirilmiş etki değerlendirme puanı ile çarpılarak her bir kategori için çevresel performans değeri elde edilmiştir.

$$EDPuan_{jk} = \frac{ED_{jk} \times WF_k}{NF_k} \quad 3.2a$$

Bu bağıntıya göre;

- $EDPuan_{jk}$ = farklı j yapı malzemeleri için k çevresel etkisi ile ilgili ağırlıklandırılmış ve normalleştirilmiş performans değeri;
- WF_k = k çevresel etki kategorisi ile ilgili ağırlıklandırma katsayısı;
- NF_k = k çevresel etki kategorisi ile ilgili normalleştirme katsayısı;
- ED_{jk} = farklı j yapı malzemeleri için k çevresel etkisi ile ilgili ham etki değerlendirme puanıdır.

Normalleştirilmiş etki değerlendirme puanı hesaplanan küresel ısınma, fosil yakıt tüketimi, atık, su tüketimi ve mineral kaynak tüketimi çevresel etki kategorileri için YDED-TR modelinde hesaplanan ağırlıklandırma katsayıları kullanılmıştır. Bu kategoriler için normalleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış çevresel performans değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5: Bir kg EPS için YDED TR modeline göre hesaplanan normalleştirilmiş ve ağırlıklandırılmış çevresel performans değeri.

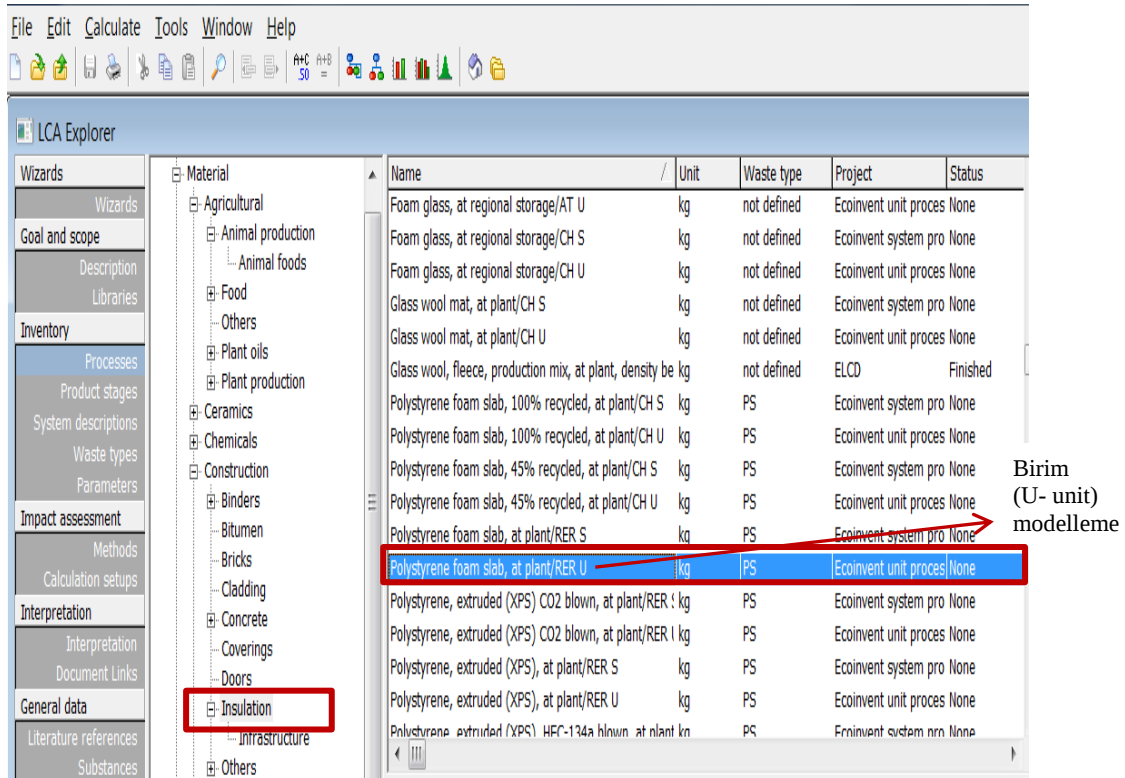
Çevresel etki kategorileri	Ağırlıklandırılmış çevresel performans değeri
Küresel ısınma	$0.0006 \times 0.15 = \mathbf{0.00009}$
Fosil yakıt tüketimi	$0.0019 \times 0.19 = \mathbf{0.0003}$
Asitleşme	Türkiye için NF hesaplanmalı
Atık	$0.005 \times 0.12 = \mathbf{0.0006}$
Su tüketimi	$0.14 \times 0.15 = \mathbf{0.021}$
Mineral kaynak tüketimi	$0.00 \times 0.07 = \mathbf{0.00}$
Ötrifikasyon	Türkiye için NF hesaplanmalı
Fotokimyasal sis oluşumu	Türkiye için NF hesaplanmalı
İç hava kalitesi	İlgili envanter bulunmamaktadır.
Arazi kullanımı	İlgili envanter bulunmamaktadır.
Ozon tabakasının incilmesi	İlgili envanter bulunmamaktadır.

4.3 EPS'nin YDED TR Modeli Sonuçlarının Diğer YDED Model Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

İlk olarak 1990'da danışmanlar ve üniversiteler tarafından tasarlanmış “SimaPro”; kullanıcının ürünlerin ve servislerin çevresel performansını analiz etmesini ve gözlemlemesini sağlayan bir YDD aracıdır. Birçok YDED modelini içermektedir. Yaşam döngüsü envanter verilerinin birden fazla YDED modeli için hesaplanmasına olanak tanımaktadır.

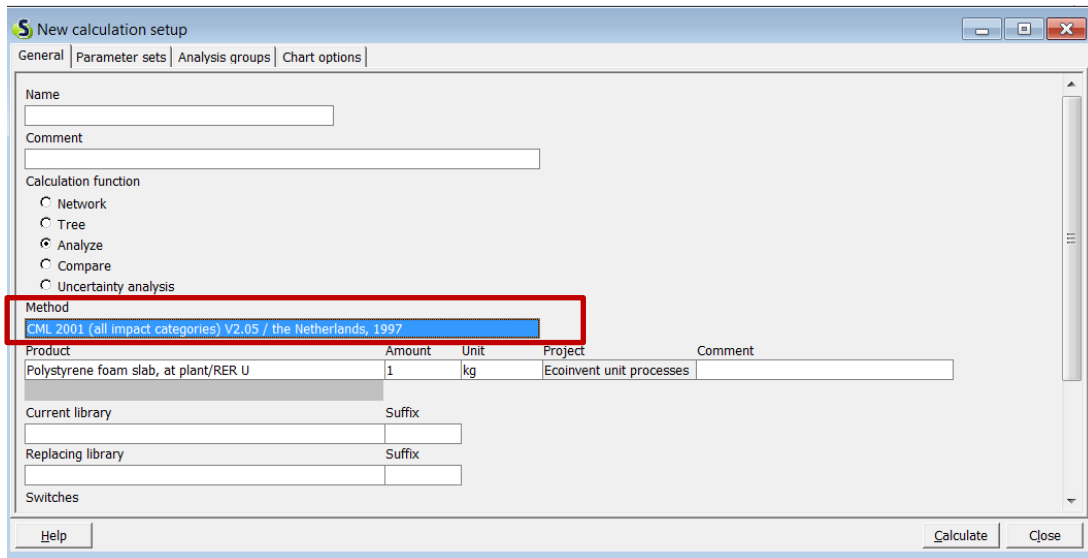
Bu çalışmada “SimaPro” içeriğindeki “Ecoinvent Veritabanından” yapı malzemeleri kategorisi içinden EPS seçilerek beşikten kapıya çevresel etkileri farklı YDED modellerine göre hesaplatılmıştır. Ecoinvent veritabanında veriler sistem (system- S) ya da birim (unit- U) olarak ifade edilmektedirler. Sistem modellerinde veriler farklı birim süreçlerinden elde edilmez (örneğin BUWAL250 veritabanı tüm çelik üretim süreçlerini tek bir defada tanımlar. Bu sistem modellemesidir.). Birim modellerinde ise veriler birden fazla birim süreçlerden elde edilmektedir (örneğin çelik üretimindeki veriler farklı birim süreçlerin açılımıyla elde edilmektedir). Bu çalışmada EPS'nin beşikten kapıya yaşam döngüsü süreçlerindeki verilerin Şekil 4.3'de EPS'nin envanter akış diyagramında gösterildiği gibi birim süreçlerden elde edildiği kabul edilmektedir. Bu nedenle veritabanında “U” yani birim modelleme esas alınmıştır (Şekil 4.4).

YDED TR modelinin denenmesinde kullanılan envanter verileri 1 kilogram EPS içindir. SimaPro'da aynı fonksiyonel birime sahip yani EPS'nin bir kilogramı için hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 4.4 : SimaPro (7.1) YDD aracı, EPS'nin veritabanından seçilmesi.

Bir kilogram EPS'nin normalleştirilmemiş ve ağırlıklandırılmamış ham etki değerlendirme puanı, normalleştirilmiş etki değerlendirme puanı orta nokta yaklaşım modelleri olan CML2001, EDIP2003, EPD2008, Impact2002, Recipe, BEES ve TRACI için SimaPro ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 : SimaPro (7.1) ile YDED modeli olarak CML2001'in seçilmesi.

Bir kilogram EPS'nin tanımlama sonucunda (her bir kategori için salımların dönüştürme katsayısıyla tek bir eşdeğer salıma ya da birime dönüştürüldüğü adım) elde edilen ham etki değerlendirme puanlarının karşılaştırılması Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Kapsam içinde değerlendirilen çevresel etki kategorileri YDED modellerine göre farklılık göstermektedir. Tanımlama sonuçlarının farklı olmasını sağlayan dönüştürme katsayıları ve envanter analizinden gelen girdi ve çıktı miktarlarıdır.

Çizelge 4.6: Bir kilogram EPS için YDED modellerine göre ham etki değerlendirme puanları.

YDED Modelleri	Küresel ısıtma (CO ₂)	Fosil yakıt tüketimi (TEP)	Asitleşme (SO ₂)	Atık (Ton)	Su tüketimi (m ³)	Mineral kaynak tüketimi (Ton)
YDED TR	3.59	0.002	0.03	0.07	0.03	0.000008
CML2001	4.14	N/A	0.01	N/A	N/A	0.01
EDIP2003	4.21	N/A	N/A	0.04	N/A	N/A
EPD2008	4.14	0.002	0.01	N/A	N/A	0.01
Impact2002	3.71	0.002	0.01	N/A	0.01	0.0003
Recipe	3.62	0.002	0.01	N/A	N/A	N/A
BEES	4.14	N/A	N/A	N/A	0.03	N/A
TRACI	4.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

	Örifikasyon (PO ₄)	Fotokimyasal sis oluşumu (C ₂ H ₄)	İç hava kalitesi (Uçucu Organik Bileşikler)	Arazi kullanımı (m ² x yıl)	Ozon tabakasının incelmesi (CFC11)
YDED TR	0.002	0.02	Envanter yok	Envanter yok	Envanter yok
CML2001	0.001	0.006	N/A	0.007	0.00000011
EDIP2003	N/A	N/A	N/A	N/A	0.00000013
EPD2008	0.001	0.01	N/A	N/A	0.000023
Impact2002	0.000	N/A	N/A	N/A	0.00000013
Recipe	N/A	N/A	N/A	N/A	0.00000013
BEES	N/A	N/A	0	N/A	0.00011
TRACI	N/A	N/A	N/A	N/A	0.00000015

N/A (Not Applicable) = YDED modeli tarafından değerlendirilmeye alınmamıştır.

Bir kilogram EPS'nin beşikten kapıya sürecindeki fosil yakıt tüketiminde, envanter verilerinin Türkiye ve diğer YDED modellerinde aynı olduğu görülmektedir. Tüketilen atık miktarı EDIP modeline göre YDED TR modelinde daha fazladır. YDED TR modelinde esas alınan su tüketim miktarı BEES modeli ile aynı, Impact2002 modelinden fazladır. YDED TR modelinde kullanılan envanter verisinde belirtilmiş 1 kg EPS için tüketilen mineral kaynak miktarı diğer YDED modellerinden daha azdır (Çizelge 4.6). Salım kaynaklı çevresel etki kategorileri için elde edilen ham etki değerlendirme puanında envanter verilerinin yanı sıra ilgili salımları referans salıma dönüştürme katsayılarındaki farklılıklar da etkili olmaktadır

Değerlendirilen YDED modellerinden sadece Impact2002 ve Recipe modelinde normalleştirme yapılmıştır. YDED TR modeliyle birlikte bu üç model için normalleştirilmiş değerler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu üç modelde ortak değerlendirilen çevresel etki kategorileri; küresel ısınma, mineral kaynak tüketimi ve fosil yakıt tüketimidir.

Çizelge 4.7: Bir ton EPS için normalleştirilmiş (birimsizleştirilmiş) değer.

	YDED Modelleri		
	YDED TR	Impact2002	Recipe
Küresel ısınma	0.0006	0.0003	0.0003
Mineral kaynak tüketimi	0.00	0.00	-
Fosil yakıt tüketimi	0.001	0.0007	0.001

Bu üç model içinden Impact2002 ve Recipe için ağırlıklandırma adımı SimaPro'da kullanılmamıştır. Bu nedenle Türkiye ve diğer YDED modelleri çevresel performans değerleri karşılaştırılamamıştır.

4.4 EPS için Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi ve Yaşam Döngüsü Yorumu

ISO 14040'a (2006) göre Yaşam Döngüsü Yorumu (YDY), önemli çevresel konuların belirlenmesi; değerlendirme (bütünlük, hassasiyet, uygunluk ve diğer kontroller); sonuçlar, sınırlılıklar ve öneriler adımlarını içermektedir.

EPS yalıtım malzemesinin YDED TR modeli ile değerlendirilmesi sonucunda elde edilen önemli konuların belirtilmesi ve değerlendirme YDY'nun ilk adımıdır. Referans envanter verileri ve Türkiye'deki çevresel verilerin kullanılarak EPS'nin çevresel etki değerlendirmesi sonucunda; su tüketimi önem sıralamasında ilk sırayı

alırken, atık ikinci sırada yer almaktadır. Bunları fosil yakıt tüketimi ve küresel ısınma izlemektedir. Mineral kaynak tüketimi için çevresel etki değeri ihmal edilebilecek düzeydedir.

Bütünlük kontrolüyle, YDED modelinin uygulanabilmesini sağlayan bilgi ve verilerin kontrolü ve ulaşılabilirliği kontrol edilmektedir. EPS için yapılan çalışmada arazi kullanımı, iç hava kalitesi ve ozon tabakasının incelenmesi kategorileri ile ilgili gerekli envanter verilerinin yer almaması, bu kategoriler için çevresel etki değerlendirmesinin yapılmasını engellemiştir. Bu çalışmada tanımlama adımı esas alınan envanter verileri doğrultusunda yapılmıştır. Türkiye’de özellikle salım envanteri ile ilgili veri eksiklikleri, normalleştirme adımının bazı kategoriler için uygulanamamasına neden olmuştur. YDED modelinde normalleştirmenin tüm çevresel etki kategorileri için yapılabilmesinde;

- Türkiye’de asitleşmeye neden olan salımların kükürt dioksit (SO_2) eşdeğerindeki envanteri;
- Türkiye’de ötrifikasyona neden olan salımların fosfat (PO_4) eşdeğerindeki envanteri;
- Türkiye’de fotokimyasal sis oluşumuna neden olan salımların eten (C_2H_4) eşdeğerindeki envanteri;
- Türkiye’de iç hava kalitesini etkileyen uçucu organik bileşik salımların envanteri;
- Türkiye’de ozon tabakasının incelenmesinde etkili salım envanteri;
- Türkiye’de yıllık arazi kullanım miktarı gereklidir.

Bütünlük kontrolü, YDED modelinde toplam çevresel performans değerinin hesaplanabilmesi amacıyla gerekli verilerin elde edilmesi için YDE analizine dönülmesi ve sonrasında YDED modeline göre hesaplamanın yeniden yapılması gerektiğini göstermiştir.

Hassasiyet kontrolünde, sonuçları en fazla etkileyen veriler tespit edilerek ve bu veri değerlerinde yapılacak değişikliğin sonuçları ne şekilde etkileyeceği kontrol edilir. Burada her bir veri değişkeni için bir aralık ve dağılımın tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada YDED modelinde toplam çevresel performans değerinin hesaplanması için gerekli verilerin eksik olması nedeniyle hassasiyet kontrolü yapılamamıştır.

Uygunluk kontrolünde; verilerin kaynağı, doğruluğu, veri yaşı, zaman ve coğrafik kapsamı kontrol edilmektedir. Türkiye için geliştirilen YDED modelinin denenmesi için Athena Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü'ne hazırlanmış olan bir rapordan (Sylvatica, 1998) alınan envanter verileri kullanılmıştır. İleride Türkiye için envanter veritabanının oluşturulması durumunda, yeni verilerle benzer çalışmaların yapılması gerekmektedir. EPS'nin değerlendirildiği YDED TR modelinde kullanılan çevresel veriler, Türkiye'ye özgü veriler ve literatür verileridir. Türkiye'ye özgü veriler 2011, 2012 ve 2013 yıllarına ait güncel verilerdir. Coğrafi kapsamı ise Türkiye'dir. Bu açılardan YDED modeli, çalışmanın amaç ve kapsamına uygundur.

EPS yapı malzemesinin farklı YDED modelleriyle karşılaştırılmasında; modellerin farklı çevresel etki kategorilerini değerlendirmesi ve her modelin normalleştirme ve ağırlıklandırma adımlarını içermemesi toplam çevresel performans değerinin karşılaştırılmasını engellemiştir. Yaşam Döngüsü Yorumlaması evresinin son adımı olan sonuç ve öneriler bölümüne aşağıdaki bölümde yer verilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon gibi çevresel sorunların insan sağlığı, ekosistem ve kaynak kullanımı üzerinde önemli etkileri vardır. Yapı malzemesi sektörü, yaşam döngüsünün her evresinde bu sorunların oluşmasında önemli rol oynamaktadır.

Yapı malzemelerinin mekanik, fiziksel, kimyasal ve teknolojik özelliklerinin, ekonomikliğinin, sağlanma kolaylıklarının, görünüş ve estetik özelliklerinin yanı sıra çevresel özelliklerinin de mimarlar ve yapım sektöründeki karar verici diğer kişiler tarafından malzeme seçiminde göz önünde bulundurulması gerekir. Yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesine, değerlendirilmesine ve bu etkilerin azaltılmasına yönelik çalışmalar dünyada giderek artmaktadır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), dünyada yaygın olarak kullanılan bir çevresel etki değerlendirme yöntemidir. Amerika, İngiltere gibi gelişmiş ülkelerde yapı malzemeleri ve yapılarla ilgili YDD çalışmaları gelişim gösterirken, Türkiye’de bu konuda yapılan çalışmalar sınırlı kalmaktadır. Oysa çevreye duyarlı yapı malzemelerinin geliştirilmesi; küresel anlamda çevresel problemler açısından bir sorumluluk paylaşımı, bölgesel anlamda kaynakların verimli kullanımı, ekosisteme ve insan sağlığına katkı sağlaması açısından önemlidir.

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED), yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin hesaplandığı YDD’nin en önemli evrelerinden birisidir. Yaşam Döngüsü Envanteri, YDED evresi için çevresel veriler sağlarken yorumlama evresi YDED’nin sonuçlarını analiz etmektedir. Türkiye’de yapılan çalışmalara bakıldığında YDED evresi için bazı YDD araçlarının kullanıldığı görülmektedir. Oysa bu araçlar YDED’nin her bir adımı için aracın geliştirildiği ülke ya da bölgeye özgü çevresel sonuçları yansıtmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, yapı malzemelerinin çevresel etkilerini değerlendiren Türkiye’ye özgü bir YDED modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada yapılan ön araştırma, yerel faktörlerin YDED modellerinin sonuçlarını etkilediğini göstermiştir. Türkiye için yerel faktörlerin göz önünde bulundurulduğu bir YDED modelinin geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Türk yapı malzemesi sektörüne yönelik YDED modeli için çevresel etki kategorileri, tanımlama modelleri, kategori göstergeleri ve normalleştirme referans değeri önerilmiştir. Yapı malzemelerinin çevresel etki değerlendirmesinde yerel veriler dikkate alındığında, ağırlıklandırma adımının önemi büyüktür. Yapılan ön çalışma sonucunda ülkelere göre çevresel etki kategorilerinin önem derecesinde büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu nedenle Türkiye için önerilen panel yöntemi ile devlet, üniversiteler ve yapı malzemesi sektöründen seçilen ve bu konularda çalışan uzman kişilere uygulanan anket sonucunda ağırlıklandırma katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre fosil yakıt tüketimi, küresel ısınma, su tüketimi ve atık kategorilerinin Türkiye için yüksek riskli çevresel konular olduğu; arazi kullanımı, iç hava kalitesi ve mineral kaynak tüketiminin orta riskli çevresel konular; ozon tabakasının incelmeye, asitleşme, ötrofikasyon ve fotokimyasal sis oluşumunun düşük riskli çevresel konular olduğu sonucuna varılmıştır. YDED modellerinin tanımlama, normalleştirme ve ağırlıklandırma adımları sonucunda, Türkiye’de üretilen bir yapı malzemesinin toplam çevresel performans etki değerinin hesaplanabilmesi için Türkiye özgü verilerin yer aldığı ve ağırlıklandırma katsayılarının belirlendiği bir YDED bağıntısının kullanılması önerilmiştir. Model, genişletilmiş polistiren köpük (EPS) yapı malzemesi üzerinde denenmiş, modelin sonuçları bazı YDED modellerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmalar doğrultusunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş, bundan sonra yapılacak çalışmalar için öneriler verilmiştir.

- Diğer ürünlerden farklı olarak yapı malzemelerinin YDD çalışmalarında hizmet ömrünün uzun olması, çok farklı evrelerinin olması, çok çeşitli malzeme türünün olması gibi hususlar nedeniyle modellere girdi oluşturacak verilerin toplanmasında zamansal, coğrafik ve teknolojik belirsizliklerle karşılaşmaktadır. Yapı malzemelerinin çevresel etkileriyle ilgili değerlendirmeler, kontrol ve iyileştirmelerin yapılabilmesi büyük ölçüde bunlar ile ilgili çevresel verilerin mevcut olmasına bağlıdır. Bu alanda bilimsel verilerin sağlanması için uluslararası veritabanlarından yararlanılarak “Ulusal Yaşam Dönüsü Envanter Veritabanı” oluşturulabilir. Bu veritabanı, bir yapı malzemesinin toplam çevresel performans

değerinin hesaplanmasını sağlayan YDED evresi için gereklidir. Bu çalışmada doğal kaynaklar, salımlar ve atıklar seçilen 11 çevresel etki kategorisine sınıflandırılmış, gerekli envanter verileri belirlenmiştir. İleriki çalışmalarda oluşturulacak YDE veritabanı için bu sınıflandırma kullanılabilir. Yapı malzemelerinin her bir yaşam döngüsü süreci için bu veriler esas alınarak envanter akış diyagramları oluşturulabilir. YDE verilerinin bir yöntem kapsamında toplanması, verilere sistematik olarak ulaşmak açısından yararlı olabilir. Türkiye için gerekli çevresel verilerin sağlanmasında TÜİK ve ilgili bakanlıklardan (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı; Orman ve Su İşleri Bakanlığı; Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı gibi) destek alınabilir. Yapı malzemesi sektörü için YDE veritabanının oluşturulmasında, yapı malzemesi üreticilerinin çevresel konulardaki duyarlılık ve farkındalığının artırılması önemlidir.

- Bu çalışmada geliştirilen YDED modeli, tüm yaşam döngüsü sürecini ele alarak envanter verileri derlenmiş bir yapı malzemesinin Türkiye'ye özgü toplam çevresel performans değerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Model, alternatif yapı malzemeleri arasında çevresel performans değerlerinin karşılaştırılarak çevresel etkisi az olan yapı malzemesinin seçimini mimara sağlayabilir. Çevresel etki değerlendirmesi sonucu; malzemenin sektör içinde çevresel özelliklerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi; çevresel performanslarıyla ilgili kamu politikalarının oluşturulması ve çevresel etiketlerin oluşturularak uluslararası pazarlama araçlarının geliştirilmesi için bir girdi oluşturulabilir.

- Çevresel etki kategorilerinin seçilmesinde fikir birliğine varılması, ülkeler arasında yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılabilmesine olanak tanıyacaktır. Bu model içinde seçilen çevresel etki kategorilerinin yanı sıra yapı malzemelerinin yaşam döngülerinde etkili olan toz, gürültü, iyon radyasyonu gibi kategoriler için tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin geliştirilmesi ve bundan sonra yapılacak çalışmalara bu kategorilerin dahil edilmesiyle model güncellenebilir.

Bu çalışmada orta nokta çevresel etki kategorilerinin gruplandırıldığı kaynakların tüketilmesi, ekosistem hasarı ve insan sağlığı gibi son nokta kategorileri için ileriki çalışmalarda tanımla modelleri, kategori göstergeleri, normalleştirme ve ağırlıklandırma katsayıları belirlenerek toplam çevresel performans değeri hesaplanabilir. Böylece bu çalışmada önerilen orta nokta yaklaşım modeli, orta ve

son nokta yaklaşımını içeren bir modele dönüşmüş olur. Bu da her iki yaklaşımın avantajlarından faydalanılmasını sağlayacaktır.

- Tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesi için, uluslararası karşılaştırılabilir olma imkânı sağlayacak doğru ve yerel verilerin oluşturulmasına ihtiyaç vardır. Bölgeye veya ülkelere göre değişen dönüştürme katsayıların hesaplanması çevresel uzmanlık gerektirmektedir. Bu nedenle tanımlama adımı çevre mühendisliği ve çevresel konularda uzman olan kişilerle birlikte çalışmayı gerektirmektedir.

- Her bir ülkenin çevresel önceliklerine göre ağırlıklandırma katsayılarının belirlenmesi ISO 14040 standardına göre zorunlu adım olmasa da yapı malzemelerinin YDED modellerinde yerelliğin sağlanması için önemlidir.

Çevresel etki kategorilerinin önem derecesi zaman için değişebilmektedir. Bu çalışmada önerilen ağırlıklandırma yöntemi gelecek yıllar içinde tekrarlanabilir ve ağırlıklandırma katsayıları bu yıllar için yeniden hesaplanabilir.

Bu modelde önerilen panel yöntemi ile hedefe ulaşma mesafesi yöntemi birlikte kullanılarak ağırlıklandırma katsayıları hesaplanabilir. Türkiye’de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından her yıl çevresel göstergeler yayınlanmaktadır. Bu göstergelere bağlı olarak o yıl için ağırlıklandırma katsayıları, panel yöntemi ile birlikte ülkenin politik hedeflerini esas alan hedefe ulaşma mesafesi yöntemi ile belirlenebilir. Bu katsayılar değerlendirilirken Montreal Protokolü, İklim Değişimi gibi diğer ülkelerle yapılan anlaşmalar da göz önünde bulundurulabilir.

Ağırlıklandırma yönteminde panelistlerin Türkiye’deki çevre sorunlarıyla ilgili çalışan ve bu konularda ülkedeki gelişmeleri yönlendiren farklı gruptaki uzman kişilerden seçilmesi önemlidir. Panelistlerin verdiği cevaplardaki tutarlılığın belirlenmesi için AHP yönteminin kullanılması faydalı olmaktadır.

Ağırlıklandırma sonuçları yapı malzemesi sektörü için fosil yakıt kullanımının ve küresel ısınmanın Türkiye için yüksek riskli çevresel konular olduğunu göstermiştir. Bu sonuç yapı malzemesinin yaşam döngüsünün her evresinde gerçekleşen enerji tüketimini önemli hale getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, üretimde teknolojilerin enerji etkin hale getirilmesi, nakliye mesafelerinin azaltılması ve diğer süreçlerdeki enerjinin etkin kullanılması bu etkilerin azaltılması açısından yarar sağlayacaktır. Su kullanımı ve atık oluşumu da Türkiye için önemli

konulardandır. Su etkin teknolojilerin kullanılması, suyun arıtılarak yeniden kullanılması, malzemelerin geri dönüştürülebilmesi, daha az atık oluşturacak üretim ve yapım yöntemlerinin geliştirilmesi gibi çözümler yarar sağlayacaktır. Her bir yapı malzemesinin YDD'sinin yapılması, bu etkilerin belirlenmesinde ve bu etkilere karşı çözüm önerileri getirilmesinde büyük katkı sağlayacaktır.

- Çevresel anlamda geliştirilmiş yapı malzemelerinin Türk yapı malzemesi sektöründe ayırt edilebilmeleri ve avantaj elde etmeleri için YDED sonucunda hesaplanan toplam çevresel performans değerinin de belirtildiği çevre etiketleri oluşturulmalıdır.

- Sürdürülebilirlik; insan unsurunun içinde olduğu her tür eylemde, gelecek kuşakların yaşam koşullarına zarar vermeden çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri de içeren kararların verilmesini esas alan bir düşünce şeklidir. Bu çalışma, yapı malzeme seçiminde çevresel performansın değerlendirilmesine yöneliktir. Sürdürülebilir yapılar için çevresel performansın yanı sıra ekonomik ve sosyal performansın da mimarlar tarafından malzeme seçim kriteri olarak değerlendirilmeye alınması gerekir.

KAYNAKLAR

- Ahbe, S. Braunschweig, A.ve Müller Wenk, A.** (1990). *Methodology for eco-balances based on ecological optimization*, BUWAL Schriftenreihe Umwelt No. 133, Almanya.
- Akman, A.** (2005). İnsan Sağlığı, Sağlıklı Yapı ve Yapı Biyolojisi, *Yapı*, 279, YEM Yayınları, İstanbul, 89-92.
- Anderson, J. Shiers, D. E. ve Sinclair, M.** (2002). *The Green Guide to Specification and Environmental Profiling System for Building Materials and Components*, 3rd edition, Blackwell Science Ltd., Oxford.
- Annema, J.A.** (1992). *Methodology for the evaluation of potential action to reduce the environmental impact of chemical substances*. In SETAC-Europe: Life Cycle Assessment, 73-80.SETAC Europe, Brüksel, Belçika.
- Anonymous.** (1991). *Integrated substance chain management*. McKinskey& Company.
- Bare, J. C. Hofstetter, P. Pennington, D.W. Helias, A. Udo de Haes.** (2000).Midpoints versus Endpoints: The Sacrifices and Benefits, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 5 (6), 319–326 .
- Bare, J.C.** (2010). Life cycle impact assessment research developments and needs, *Clean Techn Environ Policy*, 2, 341–351.
- Barnard, J.** (2007). Environmental Profiles Analysis Report for NBT Thermoplan - fired clay masonry units, BRE, İngiltere.
- Barnthouse, L. Fava, J. Humphreys, K. Hunt, R. Laibson, L. Noesen, S. ve diğerleri** (1997). *Life Cycle Assessment: The state of the art*. Pensacola, FL, USA: SETAC press.
- Baumann, H.ve Rydberg, T.** (1994). Life cycle assessment: A comparison of three methods for impact analysis and evaluation. *J. Cleaner Production*, 2, 13-20.
- Baumann, H. Tillman, A.H.** (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA- An orientation in LCA methodology and Application*, Student litterateur, Sweden, ISBN 91- 44- 02364- 2.
- Bengtsson, M.** (1998).Värderingsmetoderi LCA Rapport 1998:1.CPM, Chalmers, Göteborg, Sweden. (In Swedish).
- Bengtsson, J. Howard, N.** (2010). *A Life Cycle Impact Assessment Method; Part I: Classification and Characterization*, Building Products Innovation Council and AusIndustry.

- Bengtsson, J. Howard, N.** (2010). *A Life Cycle Impact Assessment Method; Part II: Normalization*, Building Products Innovation Council and AusIndustry.
- Berge, B.** (2000). *The Ecology of Building Materials*.
- Blonk, T.J. Spriensma, R. Goedkoop, M.J. Agterberg, A. Engelenburg, B. van; Blok, K.** (1997). *Drie Referentieniveau's voor normalisatie in LCA*, RIZA, Lelystad.
- Bosch, M. E. Helweg, S. Huijbregts, M. A. J. ve Frischknecht, R.** (2007). Applying Cumulative Energy Demand (CExD) Indicators to the Ecoinvent Database, *Int J Life Cycle Assess* 12(3), 181-190.
- Braunschweig, A. Förster, R. Hofstetter, P. ve Müller-Wenk, R.** (1994). *Evaluation und Weiterentwicklung von Bewertungsmethoden für Ökobilanzen - Erste Ergebnisse*. IWÖ- Diskussionsbeitrag Nr.19. IWÖ, Hochschule St. Gallen, St Gallen, İsviçre.
- Building Research Establishment.** (2008). *BRE Global Methodology for Environmental Profiles of Construction Products*. SD6050.
- Brunner, St.** (1998). *Panel Methods and their Application for Weighting in LCA*. UNS Working Paper for the Project Environmental Prioritizing within the Framework of the Swiss Priority Programme Environment, ETH Zürich.
- Cheng, E. W. L. ve Li, H.** (2001). Information priority-setting for better resource allocation using analytic hierarchy process (AHP). *Information Management and Computer Security*, 9(2), 61-70.
- Cheng, E W L. ve Li, H.** (2002). Construction partnering process and associated critical success factors: quantitative investigation. *Journal of Management in Engineering*, 194–202.
- Climate Change.** (2007). Core Writing Team; Pachauri, R.K; and Reisinger, A., ed., *Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, ISBN 92-9169-122-4.
- Climate Change.** (2013). *The Physical Science Basis*". IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Ch.8, p.714, Table 8.7. 2013. Retrieved 2014-02-13.
- CML.** (1992). *Environmental Life Cycle Assessment of Products: Background*, Leiden, The Netherlands, October.
- Curran, M. A.** (1996). *Environmental Life-Cycle Assessment*, McGraw – Hill, USA.
- Curran, M. A. Overly, J. G. Hofstetter, P. Muller, R. ve Lippiatt, B. C.** (2002). BEES 2.0, Building for environmental and Economic Sustainability Peer Review Report, NISTIR 6865, National Institute of Standards and Technology (NIST), Washington, D. C.
- Çakmaklı, A. B.** (2007). *Life Cycle Assessment of Building Materials in Hotel Refurbishment Projects: A Case Study in Ankara*. (Doktora Tezi).

Middle East Technical University, Building Science in Architecture, Ankara.

- Çamur, C.** (2010). *Isı Yalıtım Malzemelerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemiyle Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2008). Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik, *Resmî Gazete*, 27052. Erişim: 04 Temmuz 2013. <http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=sayfa&Tur=webmenu&Id=266>
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2013). Türkiye’de Ekök –Entegre Kirlilik Önleme Ve Kontrolü İçin Teknik Yardım Hizmeti, Türkiye’de EKÖK Direktifinin uygulanması için Düzenleyici Etki Analizi (DEA) Raporu, Proje Referans No: EuropeAid/129470/D/SER/TR, Sözleşme No: TR0802.04-02/001. Erişim: 25 Temmuz 2014, <http://www.csb.gov.tr/db/ippc/icerikbelge/icerikbelge2309.pdf>
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2014). Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik Taslağı. Erişim: 20 Eylül 2014. <http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=sayfa&Tur=webmenu&Id=269>.
- Çevre ve Orman Bakanlığı.** (2010). ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, Çevresel Göstergeler 2009, Veri Değerlendirme Şube Müdürlüğü, Ankara.
- Daniel, J. S. Velders, G. J. M. ve diğerleri** (2007) Halocarbon scenarios, ozonedepletion potentials, and global warming potentials. Chapter8 in Scientific assessment of ozone depletion: 2006, GlobalOzone Research and Monitoring Project, (Report No. 50). World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Deniz, Ö.** (1999). *Çok katlı konut tasarımı, kullanıcıların esneklik taleplerini karşılayacak yapı elemanlarının seçimine yönelik bir karar verme yaklaşımı*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dünya Enerji Konseyi- Türk Milli Komitesi.** (2012). *Enerji Raporu 2012*, ISSN : 1301-6318, Ankara.
- Düzgüneş, E.** (2007). *Panel on Global Warming and Effects on Fisheries*, Trabzon.
- EBN (Environmental Building News).** (2002a). Life-Cycle Assessment for Buildings: Seeking the Holy Grail, Volume 11, Number: 3, USA.
- EC (European Communities).** (1997) Guidelines for the Application of Life Cycle Assessment in the EU Eco-Label Award Scheme, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- EI 99.** (2000). Manual for designers, damage oriented method for life cycle impact assessment, October, Ministry of Housing, Spatial planning and the Environment, The Netherlands.

Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı. (2012). 2011 Yılı Enerji Dengesi.

Erişim : 19 Aralık 2012.

http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php.

Environmental Protection Agency. (1990). Science Advisory Board, Toward Integrated Environmental Decision-Making, EPA-SAB-EC-00-011, Washington, D.C., August 2000 and United States Environmental Protection Agency, Science Advisory Board, Reducing Risk: Setting Priorities and Strategies for Environmental Protection, SAB-EC-90-021, Washington, D.C., September, 13-14.

EPA (United States Environmental Protection Agency). (1994). Design for the Environment: Product Life Cycle Design Guidance Manual, Government Institutes, Inc., USA.

EPA. (2009). Exposure Factors Handbook External Review Draft , July 2009 EPA/600/R-09/052A.

Eriksson, E. Johannisson, V. ve Rydberg, T. (1996). Life Cycle Impact Assessment: Description of four methods. CIT 1996:2, Chalmers Industriteknik, Göteborg, Sweden.

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

Esin, T. (2004). İnsan Sağlığını Etkileyen İç Hava Kalitesinin Oluşumunda Yapı Malzemelerinin Rolü, *Yapı Dergisi*, 275, 99-103.

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

European Commission- Joint Research Centre. (2008a). Recommendation of Methods for LCIA, Working Draft 0.7,

European Commission- Joint Research Centre. (2008b). Analysis of LCIA Methodologies, Working Draft 0.8,

European Union Directive. (2010). 75/ EU of the European Parliament and of the Council, Industrial Emissions (integrated pollution prevention and control).

European Union Directive. (2010). Commission directive /79/EU, the adaptation to technical progress of Annex III to Directive 2004/42/EC of the European Parliament and of the Council on the limitation of emissions of volatile organic compounds.

Evren, R. ve Ülengin, F. (1992). *Yönetimde Karar Verme*, İstanbul, İTÜ Matbaası.

Finnveden, G. (1996). Valuation Methods within the Framework of Life-Cycle Assessment. IVL (Report No. B1231). IVL, Stockholm, Sweden.

Forster, P. Ramaswamy, V. Artaxo, P. Bernsten, T. Betts, R. Fahey, DW. Haywood, J. Lean, J. Lowe, DC. Myhre, G. Nganga, J. Prinn, R. Raga, G. Schulz, M. ve Van Dorland, R. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB,

Tignor M, Miller HL (eds) Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge

- Frischknecht, R. ve Steiner, N.** (2006). The Ecological Scarcity method, Eco factors, A method for impact assessment in LCA, Jungbluth, Federal Office for the Environment (FOEN), Switzerland.
- Frischknecht, R. Jungbluth, N. Althaus, H.J. Doka, G. Dones, R. Hischer, R. Hellweg, S. Humbert, S. Margni, M. Nemecek, T. ve Spielmann, M.** (2007). Implementation of life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0.Ecoinvent (Report No. 3). Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.
- Gallego, A. Rodriguez, L. Hospido, A. Moreira, M. T. ve Feijoo, G.** (2010). Development of regional characterization factors for aquatic eutrophication, *International Journal of LCA*, 15, 32-43.
- Gielen, D. J.** (1997). Building Materials and CO₂, Western European Emission Strategies, ECN- C- 97- 0651.
- Goedkoop, M. Spriensma, R.** (2001). The Eco- indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment Methodology Report, Product Ecology Consultants.
- Grant, T. ve Peters, G.** (2009). Best Practice Guide to LCIA in Australia, Draft 3 for Distribution to AusLCI, Australia.
- Gu D., Gu L. ve Zhu Y.** (2007). A Life Cycle Assessment Method for Buildings, Building Simulation, Department of Building Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China.
- Gültekin, A. B.** (2006). *Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi* (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Güngör, E. Çağatay, M. N.** (2006). Karadeniz’de Son 3000 Yılda Anı Çevresel Değişimler, *itüdergisi/d - mühendislik serisi*, 5 (4), 23-33.
- Haberl, H.** (2004). Human appropriation of net primary production and species diversity in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 102, 213-218.
- Harris, D. J.** (1999). A Quantitative Approach to the Assessment of the Environmental Impact of Building Materials, *Building and Environment*, 34, 751-758.
- Hauschild, M. ve Wenzel, M.** (1998). *Environmental Assessment of Products, Part 2, scientific background*, Chapman and Hall, Cambridge.
- Hauschild, M. Z. Goedkoop, M. Guinee, J. Heijungs, R. Huijbregts, M. Joliet, O. Margni, M. Schryver, A. D. Humbert, S. Laurent, A. Sala, S. ve Pant, R.** (2013). Identifying best existing practice for characterization modelling in life cycle impact assessment. *Int Journal Life Cycle Assessment*, 18, 683- 697.

- Heijungs, R. GuineÂe, J. Huppes, G. Lankreijer, R. M. Udo de Haes, HA. Wegener, Sleeswijk, A. Ansems, AMM. Eggels, PG. van Duin, R. de Goede, HP.** (1992). Environmental life cycle assessment of products Backgrounds and Environmental life cycle assessment of products Guide. CML, TNO, B&G, Leiden.
- Heijungs, R.** (1994). Valuation: A societal approach. In Udo de Haes et al, 107-113.
- Hertwich, E.G. Pease, W.S. ve Koshland, C.P.** (1997). Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods. *The Science of the Total Environment* 196, 13-29.
- Hirst, E.** (1974). Food-related energy requirements. *Science*, 184, 134-138.
- Methodology study Eco design of energy using products.** (2005). MEEup methodology report, European commission.
- Hittinger, J.** (2001). Life Cycle Assessment is a Critical Tool That Examines All Aspects of a Product's Life, from Cradle to Grave, *Environment Design Journal*, Spring.
- Hofstetter, P.** (1998). Perspectives in life cycle impact assessment: a structured approach to combine models of the technosphere, ecosphere and valuesphere. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer. 484.
- Hofstetter, P. Lippiatt, B. C. Bare, J. C. ve Rushing, A. S.** (2002). User Preferences for Life-Cycle Decision Support Tools: Evaluation of a Survey of BEES Users, NISTIR 6874, National Institute of Standards and Technology (NIST), Washington, D. C.
- Howard, N. Edwards, S. ve Anderson, J.** (1999). BRE Methodology for Environmental Profiles of Construction Materials, Components and Buildings, BRE (Report No. 370). UK.
- Howard, N.** (2000). Sustainable Construction- The Data, CR 258/ 99 centre for Sustainable Construction BRE, Watford.
- Huijbregts, M. A. J. Hellweg, S. Frischknecht, R. Hungerbühler, K. ve Hendriks A.J.** (2006). Ecological Footprint Accounting in the LCA of Products.
- Humbert, S. Margnive M. ve Joliet, O.** (2005). A user guide for the New Life Cycle Impact Assessment Methodology IMPACT 2002+, (for v2.1).
- ISO 14040 standard.** (2006). Environmental management-life cycle assessment-principles and framework. ISO 14040:2006(E).
- ISO. 14044 standard.** (2006). Environmental management, Life cycle assessment requirements and guidelines.
- Itsubo, N. Inaba, A.** (2003). A new LCIA method: LIME has been completed, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 8 (5), 305.
- Jensen, A. A. Hoffman, L. Moller, B. Schmit, A. Christiansen, K. Elkington, J. ve Dijk, F. V.** (1997). Life Cycle Assessment, A Guide To Approaches, Experiences and Information Sources, European Environment Agency, Denmark.
- JEPIX method** (Japan Environmental Policy Priorities Index). (2011).

- Jolliet, O. Margni, M. Charles, R. Humbert, S. Payet, J. Rebitzer, G. ve Rosenbaum, R.** (2003). IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology, *Int J. of LCA* 8 (6), 324-330.
- Jönsson, A.** (2000a). Quantitative methods Is It Feasible to Address Indoor Climate Issues in LCA?, *Environmental Impact Assessment Review*, 20, 241-259.
- Junnila, S.** (2004). *The environmental impact of an office building throughout its life cycle* (Doctoral dissertation). Helsinki University of Technology, Espoo-Finland.
- Keoleian, G. A. Menerey, D. Vigon, B. W. Tolle, D. A. Cornaby, B. W. Latham, H. C. Harrison, C. L. Boguski, T. L. Hunt, R. G. ve Sellers, J. D.** (1994). Product Life Cycle Assessment to Reduce Health Risks and Environmental Impacts, Noyes Publications, USA.
- Koellner, T. ve Scholz, R. W.** (2007). Assessment of Land Use Impacts on the Natural Environment, Part 1: An Analytical Framework for Pure Land Occupation and Land Use Change, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12 (1), 16-23.
- Kohler, N. Moffatt, S.** (2003). Life cycle analysis of the built environment, *Industry and Environment*, 26 (2/3), 17-20.
- Kortman, J.G.M. Lindeijer, E.W. Sas, H. ve Sprengers, M.** (1994). Towards a single indicator for emissions - an exercise in aggregating environmental effects. Interfaculty Department of Environmental Sciences, University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands.
- Kram, T.** (2001). The Matter Project: Integrated Energy and Materials Systems for GHG Emissions Mitigation, ECN.
- Langford, D. A. Zhang, X.Q. Maver, T. MacLeod, I. ve Dimitrijeic, B.** (1999). Design and managing for sustainable buildings in the UK, in Profitable partnering in construction procurement, CIB W92 (Procurement Systems) and CIB23 (Culture in Construction), *Joint Symposium*, (pp. 373-382). S.O. Ogunlana, (Ed.), London.
- Levin, H.** (1996). Best Sustainable Indoor Air Quality Practices in Commercial Buildings,” *Third International Green Building Conference and Exposition-1996*, NIST Special Publication 908, Gaithersburg, MD, November.
- Lijing, G. Bo Rong, L. Daojin, G. ve Ying Xin, Z.** (2008). An endpoint damage oriented model for life cycle environmental impact assessment of buildings in China, *Chinese Science Bulletin*, 53, no. 23, 3762-3769.
- Lindeijer, E.** (1996). Normalization and Valuation. In Udo de Haes (1996), 75-93.
- Lindeijer, E.** (1997). Results try-out Japanese/Dutch LCA valuation questionnaire 1996. IVAM ER, University of Amsterdam.
- Lippiatt, B. C.** (2007). BEES© 4.0, Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide, NISTIR 7423, National Institute of Standards and Technology (NIST), Washington, D. C.

- Marland, G. Boden, T. A. ve Andres, R. J.** (2006). Global, Regional and National CO₂ Emissions, in Trends: A Compendium of Data on Global Change, Carbon Dioxide Information Analysis Center.
- Mettier, T.** (1999). Der Vergleich von Schutzguetern – Aussgewaehlte Resultate einer Panel- Befragung, in Hofstetter P., Mettier T., Tietje O., Ansaetze zum Vergleich von Umweltschaeden, Nachbearbeitung des 9. Diskussionsforums Oekobilanzenvom 4. Dezember 1998, ETH Zuerich.
- Nagata, K. Fuji, Y. ve Ishikawa, M.** (1995). Proposing a Valuation Method based on Panel Data, Preliminary Report, Tokyo.
- Norris, G. A. ve Yost, P.** (2002). A Transparent, Interactive Software Environment for Communicating Life-Cycle Assessment Results, An Application to Residential Windows, *Journal of Industrial Ecology*, 5, number: 4, USA.
- Notarnicola, B. Huppel, G. ve Van den Berg, N.W.** (1998). Evaluating Options in LCA: The Emergence of Conflicting Paradigms for Impact Assessment and Evaluation. *Int. J. LCA*, 3, 289-300.
- Olivier, J.G.J. Maenhout, G. J. ve Peters J.** (2012). Trends in global CO₂ emissions 2012 Report, European Commision Joint Research Center, PBL Netherlands Environmental assessment Agency. <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/CO2REPORT2012.pdf>
- Ortiz, O. Castells, F. ve Sonnemann, G.** (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA, *Construction and Building Materials*, 23 (1), 28-39.
- Osmani, M. Glass, J. ve Price, A.D.F.** (2008). Architects' perspectives on construction waste reduction by design. *Waste Management*, 28(7), 1147–1158.
- Pennington, D.W. Potting, J. Finnveden, G. Lindeijer, E. Joliet, O. Rydberg, T. ve Rebitzer G.** (2004). Life Cycle Assessment Part 2: Current Impact Assessment Practice, *Environmental International*, 30, 721- 739.
- Puolamaa, M. Kaplas, M. ve Reinikainen, T.** (1996). Index of Environmental Friendliness, A Methodological Study. Statistics Finland, Environment 1996:13, Helsinki.
- Reap J. Roman F. Duncan S. ve Bras B.** (2008). A survey of unresolved problems in life cycle assessment, Part 2: impact assessment and interpretation, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 374–388.
- Recipe methodology.** (2011). <http://www.lcia-recipe.net> , March.
- Roodman, D. M. ve Lenssen, N.** (1995). A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction, Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, DC.
- Rosenbaum, R. K. Bachmann, T. M. Gold, L. S. Huijbregts, M. A. J., Joliet, O. Juraske R., Köhler, A. Larsen H. F. Macleod, M. Margni, M. Mckone, T. E. Payet, J. Schumacher, M. ven de Meent, D. ve Hauschild, M. Z.** (2008). USEtox, the UNEP- SETAC toxicity model, *Int. Journal of LCA*, 13, 532-546.

- Rousseau, D.** (1995). Materials, Sustainable Building Technical Manual, Public Technology Inc., USGBC, Erişim: 15 Nisan 2013. <http://www.sustainable.doe.gov/pdf/sbt.pdf>.
- Saaty, T.** (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation Journal, London: McGraw- Hill International Book Co.
- Saaty, T.** (1982). The Analytic Hierarchy Process: A new approach to deal with fuzziness in Architecture, *Architectural Science Review*, 25, 64-69.
- Saaty, T.** (1989). *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*, Pittsburg: RWS Publications.
- Saaty, T.** (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T.** (2000). The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes, MCDM XV-th International Conference, Ankara, Turkey.
- Solomon, S. D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor ve H.L. Miller** (eds.). (2007). Climate Change. The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Spiegel, R. ve Meadows, D.** (1999). *Green Building Materials: A Guide to Product Selection and Specification*, John Wiley and Sons Press, USA
- Steen, B. ve Ryding, S. O.** (1992). *The EPS enviro-accounting method: An application of environmental accounting principles for evaluation and valuation of environmental impact in product design*. IVL Rep. B 1080, IVL Swedish Environmental Research Institute, Göteborg, Sweden.
- Steen, B.** (1999). A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS), Version 2000, General system characteristics, CPM Report, Chalmers University of Technology, Technical Environmental Planning.
- şentürk, H.** (2008). *Yapı ürünlerinin çevresel etkileri: Bütünleşik ürün politikası bağlamında bir irdeleme*. (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tam, M. C. Y. ve Tummala, V. M. R.** (2001). An Application of The AHP in Vendor selection of a telecommunications system, *The International Journal of Management Science*, 29(2), 171-182.
- Tanaçan, L.** (2002). Ekolojik Yapı Malzemelerinin Tanımlanmasındaki Sorunlar, 1. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul: Ekim 9-13.
- Taygun, G.T.** (2005). *Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi*. (Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2011). Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Çevre Envanterleri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Çevresel Göstergeler 2010.

- T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2012). Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Çevre Envanterleri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Çevresel Göstergeler 2011.
- T.C Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı.** (2006) 9. Kalkınma Planı (2007-2013): Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu.
- Toffoletto, L. Bulle, C. Godin, J. Reid, C. ve Deschênes, L.** (2007). LUCAS – A New LCIA Method Used for a Canadian-Specific Context, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12 (2), 93–102.
- Tong, J. F.ve diğerleri** (2003). Research and assessment of green building materials in China, *China Building Materials Science & Technology*, 3, 1-8.
- Trusty, W. B. ve Meil, J. K.** (2000). Building as Products: Issues and Challenges for LCA, *International Conference on LCA: Tools for Sustainability*, Virginia: April 25-27.
- TSE** (1998). *Çevre Yönetimi, Hayat Boyu Değerlendirme, Prensipler ve Çerçeve (TS EN ISO 14040)*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu.** (2010). Türkiye Enerji Verimliliği Derneği (ENVER).
- Türkiye İnşaat Malzemeleri Sektör Görünüm Raporu.** (2011). Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB).
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2008). Sektörel enerji tüketim istatistikleri, sayı 125. Erişim: 27 Mayıs 2013.
http://www.TÜİK.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=11,
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2009). Çevre istatistikleri, sorularla resmi istatistikler Dizisi8. Erişim: 27 Mayıs 2013,
http://www.TÜİK.gov.tr/Kitap.do?metod=KitapDetay&KT_ID=3&KITAP_ID=202.
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2010). Termik santral su, atıksu ve atık istatistikleri, sayı 10732. Erişim: 27 Mayıs 2013,
<http://www.TÜİK.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=10732>.
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2012). Maden İşletmeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, sayı 16173. Erişim: 07 Ağustos 2014,
<http://www.TÜİK.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16173>.
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2012). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, 2011, Sayı: 10736, Erişim: 27 Ocak 2012,
<http://www.TÜİK.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=10736>.
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2012). Belediye Atık İstatistikleri, 2012, Sayı: 16170, 20.02.2014. Erişim: 01 Eylül 2014,
<http://www.TÜİK.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16170>.
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2013). Sayı: 13482 02.04.2013, Erişim: 23 Mayıs, 2013,
<http://www.TÜİK.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13482>
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2014). Belediye Atık İstatistikleri, 2012, sayı: 16170, 20.02.2014, Erişim: 05 Eylül 2014,
<http://www.TÜİK.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16170>

- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2014). Maden İşletmeleri Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri, 2012, sayı: 16173, 27.03.2014. Erişim: 05 Eylül 2014, <http://www.TÜİK.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=16173>.
- Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Madencilik Sektör Meclisi.** (2008). Türkiye Madencilik Sektör Raporu 2007, TOBB Yayın Sıra No: 2008/77ISBN :978-9944-60-384. Erişim: 10 Haziran 2013, <http://www.tobb.org.tr/TurkiyeSektorMeclisleri/Documents/SektorRaporlari/madencilik.pdf>.
- Türkiye Ulusal Meteoroloji ve Atmosfer Fiziği Komisyonu (TUMAK),** Çevre Etki Değerlendirme Grubu Raporu, ÇED. Erişim: 02 Haziran 2013, <http://www.meteor.gov.tr/FILES/kurumsal/arsiv/2005/gruplar/Ced.pdf>
- Udo de Haes, H. A.** (1996). *Towards a methodology for life cycle impact assessment*. Brussels, Belgium: SETAC Europe Press, p. 98.
- Udo de Haes, H. A. ve Joliet, O.** (1999). How Does ISO / IDIS 14042 on life cycle impact assessment accommodate current best available practice, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 4 (2), 75– 80.
- Udo de Haes, H. A. Joliet, O. Finnveden, G. Goedkoop, M. Hauschild, M. Herttwich, E. ve diğerleri** (2002). *Life cycle impact assessment: striving towards best practice*. Pensacola, FL, USA: SETAC press.
- UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Secretariat.** (2010). UNSD/UNEP 2004 Questionnaire on Environment Statistics, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, World Population Prospects: The 2008 Revision (2009) New York, USA.
- UNEP.** (1996). What it is and How to do it to provide background information on the LCA concept and examples of current practice.
- UNSD (United Nations Statistics Division).** (2010). Environmental Indicators, Air pollution: Total NO_x Emissions, http://unstats.un.org/unsd/environment/air_nox_emissions.html.
- Url-1** <<http://www.globalpost.com/dispatch/news/green/global-warming/120313/world-water-forum-water-crisis>>, erişim tarihi: 29.10.2014.
- Url-2** <http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden_rezervleri>, erişim tarihi: 27.05.2013.
- Url-3** <<http://www.unep.org/pdf/policytoolbox.pdf>>, erişim tarihi: 01.04.2013.
- Url-4** <<http://www.superdecisions.com>>, erişim tarihi: 02.03.2013.
- Url-5** <<http://www.abgs.gov.tr/index.php?p=49633&l=2>>, erişim tarihi: 10.08.2014.
- Url-6** <<http://www.gabi-software.com/gabi/gabi-4>>, erişim tarihi: 05.09.2014.
- Vicki Norberg Bohm ve diğerleri** (1992). *International Comparisons of Environmental Hazards: Development and Evaluation of a Method for Linking Environmental Data with the Strategic Debate Management Priorities for Risk Management*, Center for Science & International Affairs, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, October.

- Vigon, B. W. Tolle, D. A. Cornaby, B. W. Latham, H. C. Harrison, C. L. Boguski, T. L. Wu, X. Zhanga, Z. ve Chenb, Y.** (2005). Study of the environmental impacts based on the ‘green tax’ – applied to several types of building materials, *Building and Environment*, 40, 227-237.
- Wackernagel, M.** (1994). *Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: A Tool for Planning Toward Sustainability*. (PhD thesis). School of Community and Regional Planning, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Williams, L. O.** (2002) *An End To Global Warming*, Elsevier Science, pp. 1-2, Oxford.
- Wilson, B. Jones, B.** (1994).The Phosphate Report.Landbank Environmental Research and Consulting, London, UK.
- WMO (World Meteorological Organization).** (2007). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006, Global Ozone Research and Monitoring Project (Report No. 50). 572 pp., Geneva, Switzerland.
- WMO (World Meteorological Organization).** (2010). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010, Global Ozone Research and Monitoring Project (Report No. 52). Geneva, Switzerland.
- Wong, J. K. W. ve Li, H.** (2008). Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems, *Building and Environment*, 43, 108-125.

EKLER

EK A: Türk yapı malzemesi sektörü için önerilen YDED modelinin (YDED TR) adımları.

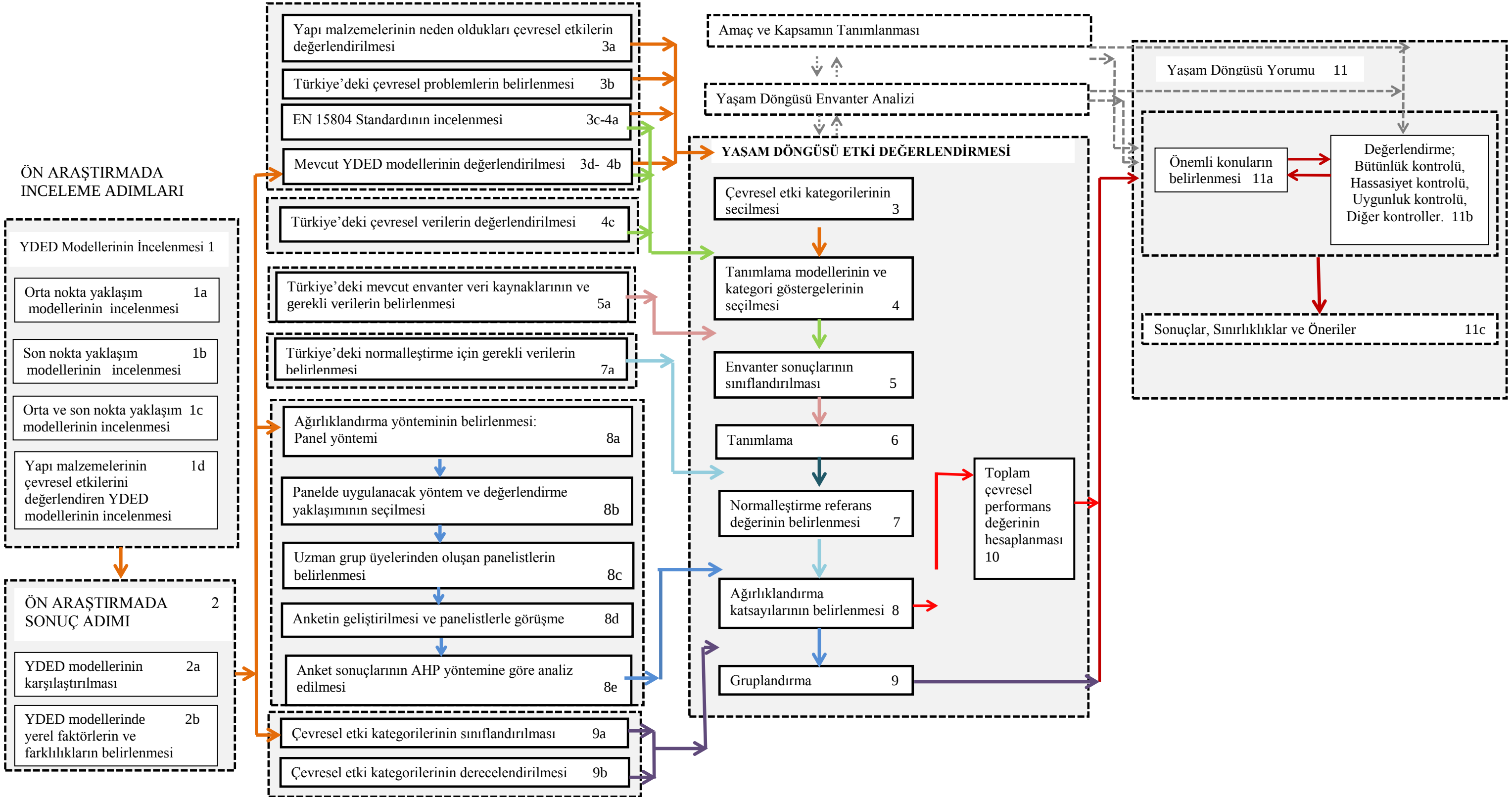
EK B: Çevresel Etki Kategorilerinin Ağırlıklandırılmasında Kullanılan Anket

EK C: Uzman Grup Üyelerinden Oluşan Panelistler

EK D: Yirmi Dört Paneliste Göre Hesaplanan Anket Sonuçları

EK A: Türk yapı malzemesi sektörü için önerilen YDED modelinin (YDED TR) adımları

Şekil A.1: YDED TR modelinin adımları.



EK B: Çevresel Etki Kategorilerinin Ağırlıklandırılmasında Kullanılan Anket

Sayın.....,

Bu anket, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilimleri Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilen doktora tez çalışmasına veri sağlamak üzere hazırlanmıştır. Yapı malzemesi sektörünün sebep olduğu çevresel etkilerin değerlendirilmesi kapsamında yapılan çalışmanın amacı, belirlenen çevresel etki kategorilerinin Türkiye için önem derecelerinin belirlenmesidir.

Katılımınız, ilgi ve yardımlarınız için teşekkür ediyoruz.

Doktora Tez Danışmanı
Prof. Dr. Leyla TANAÇAN

Araştırmacı
Öğr. Gör. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ

Aşağıda çevresel etki kategorileri ile ilgili kısaca bilgi verilmektedir.

Küresel ısınma; insan aktiviteleri tarafından CO₂ gibi sera gazlarının yayılmanın yani sera etkisinin neden olduğu küresel sıcaklıktaki değişim olarak ifade edilmektedir. İklim üzerinde etkili olan salımların arttığı konusunda dikkate değer bilimsel bir fikir birliği vardır. Artan küresel sıcaklığın, iklimsel rahatsızlığa, çölleşmeye, deniz seviyesindeki artışa ve hastalıkların yayılmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Ozon tabakasının incilmesi; klorlu ve bromlu kimyasalların ozon tabakasına hasarı, yeryüzüne ulaşan zararlı ultraviyole ışınlarının miktarını artırmaktadır. CFCs, HFCs gibi kimyasalların 1987'de Montreal Protokolüyle Avrupa'da aşamalı olarak kullanımının yasaklanmasına rağmen, çoğu soğutma araçları ve yalıtım köpükleri hala CFCs ve HFCs içermektedir.

Asitleşme; yakıtın yanmasıyla yayılan SO₂ ve NO_x gibi asidik gazlar atmosferde (asit yağmuru olarak oluşur) ya da toprak içinde su ile reaksiyona girmektedir. Asit depolanması ekosisteme hasar verir ve malzemeleri aşındırır.

Ötrofikasyon; nitratlar ve fosfatlar yaşam için gereklidir. Ancak su içinde artan konsantrasyonları alglerin aşırı büyümelerini sağlayarak su içindeki oksijeni azaltmakta ve ekosisteme zarar vermektedir. Kaynakları fosil yakıt tüketimi sonucu oluşan NO_x salımları ve gübrelerdir.

Fotokimyasal sis oluşumu (yaz sisi); azot oksit (NO_x, yaygın bir kirlenici) ve uçucu organik bileşikler içeren atmosferde, ozon güneş ışığının varlığıyla oluşturulabilir. Atmosferin üst seviyelerindeki ozonun UV ışınlarına karşı korunmasında önemli olmasına karşı, alçak seviyelerde ozon ekinlere zarar verme ve astım hastalığındaki artış gibi farklı etkilerden sorumlu tutulmaktadır. Uçucu organik bileşiklerin kaynakları solventler (boya, tutkal ya da temizlik malzemelerinde) ve yakıtlardır.

Fosil yakıt tüketimi; bu etki kategorisi fosil yakıtların kullanımıyla ilişkilidir. Tükenebilir bir kaynağın kullanımı gelecek nesillerin kullanımına olanak vermeyebilir.

Su tüketilmesi; su, yağış şeklindeki değişiklikler ve artan ihtiyaçlardan dolayı dünyada, giderek azalan kaynaklardan olmaktadır. Bu kategoride suyun değerinin ve nehir ve akifelerden fazla su çekilmesinin neden olduğu hasarın farkına varılması amaçlanmaktadır.

Arazi kullanımı; arazi yeryüzünde sınırlı ve yenilenemeyen kaynaklardan biridir. Yapım sektörünün çevre üzerindeki etkisi ve kentsel alanların genişlemesi sürdürülebilir yapıların kesin göstergesi olarak arazi kullanımının önemini göstermektedir.

Atık; bu kategori atıkların son yıkımı olarak adlandırılan kaynak kaybı ile ilişkili çevresel konuları ifade etmektedir.

İç hava kalitesi; kullanıcıların sağlık ve konforunun korunması ve üretkenliğin artması açısından önem taşımaktadır. Yapı malzemelerinde, mobilyalarda, boyalarda, cilalarda ve kullanılan temizlik maddelerinde bulunan kimyasalların çoğu formaldehit, cıva, flor, fenol gibi zehirli gazlar açığa çıkarmaktadır.

Mineral kaynak tüketimi; bu etki kategorisi göstergesi işlenmemiş abiyotik malzemenin çıkarılması (agregaların, maden cevherinin, minerallerin vb. çıkarılması) ile ilişkilidir. Bu malzemelerin çıkarılması, dünyanın doğal taşıma kapasitesinin aşıp aşılmadığı ve gelecek nesillerin kullanımına olanak sağlanıp sağlanmayacağı anlamına gelmektedir.

Çizelge B.1 : Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırılmasında kullanılan anket.

• Ankette 11 çevresel etki kategorisi için 55 ikili karşılaştırma sorusu bulunmaktadır. Her karşılaştırmada her bir satır için **yalnız** bir kutunun işaretlenmesi beklenmektedir. Bir çevresel etki kategorisine yaklaştıkça diğer kategori ile karşılaştırdığımızda daha fazla önemli olduğu belirtilmiş olacaktır. İkili karşılaştırmalar için verilen sayıların anlamları üzerinde açıklanmaktadır.

Örnek İşaretleme:										
Arazi Kullanımı		0	X	0	0	0	0	0	0	Asitleşme
ÇEVRESEL ETKİ KATEGORİLERİ	Mutlak ve aşırı derecede daha fazla önem	9	7	5	3	1	3	5	7	9
	İspatlanmış ve çok kuvvetli derecede daha fazla önem	Esaslı veya kuvvetli derecede daha fazla önem	Az miktarda daha fazla önem	Eşdeğer Önem	Az miktarda daha fazla önem	Esaslı veya kuvvetli derecede daha fazla önem	İspatlanmış ve çok kuvvetli derecede daha fazla önem	Mutlak ve aşırı derecede daha fazla önem	ÇEVRESEL ETKİ KATEGORİLERİ	
1	Arazi Kullanımı	0	0	0	0	0	0	0	0	Asitleşme
2	Asitleşme	0	0	0	0	0	0	0	0	Atık Oluşumu
3	Atık Oluşumu	0	0	0	0	0	0	0	0	Fosil Yakıtların Tüketilmesi
4	Fosil Yakıtların Tüketilmesi	0	0	0	0	0	0	0	0	Fotokimyasal Ozon Oluşumu
5	Fotokimyasal Ozon Oluşumu	0	0	0	0	0	0	0	0	İç Hava Kalitesi
6	İç Hava Kalitesi	0	0	0	0	0	0	0	0	İklim Değişimi
7	İklim Değişimi	0	0	0	0	0	0	0	0	Mineral Kaynak Tüketimi
8	Mineral Kaynak Tüketimi	0	0	0	0	0	0	0	0	Ötrifikasyon
9	Ötrifikasyon	0	0	0	0	0	0	0	0	Ozon Tabakasının İncelmesi
10	Ozon Tabakasının İncelmesi	0	0	0	0	0	0	0	0	Su Tüketilmesi
11	Arazi Kullanımı	0	0	0	0	0	0	0	0	Atık Oluşumu
12	Asitleşme	0	0	0	0	0	0	0	0	Fosil Yakıtların Tüketilmesi
13	Atık Oluşumu	0	0	0	0	0	0	0	0	Fotokimyasal Ozon Oluşumu
14	Fosil Yakıtların Tüketilmesi	0	0	0	0	0	0	0	0	İç Hava Kalitesi
15	Fotokimyasal Ozon Oluşumu	0	0	0	0	0	0	0	0	İklim Değişimi
16	İç Hava Kalitesi	0	0	0	0	0	0	0	0	Mineral Kaynak Tüketimi
17	İklim Değişimi	0	0	0	0	0	0	0	0	Ötrifikasyon
18	Mineral Kaynak Tüketimi	0	0	0	0	0	0	0	0	Ozon Tabakasının İncelmesi
19	Ötrifikasyon	0	0	0	0	0	0	0	0	Su Tüketilmesi
20	Arazi Kullanımı	0	0	0	0	0	0	0	0	Fosil Yakıtların Tüketilmesi
21	Asitleşme	0	0	0	0	0	0	0	0	Fotokimyasal Ozon Oluşumu
22	Atık Oluşumu	0	0	0	0	0	0	0	0	İç Hava Kalitesi
23	Fosil Yakıtların Tüketilmesi	0	0	0	0	0	0	0	0	İklim Değişimi
24	Fotokimyasal Ozon Oluşumu	0	0	0	0	0	0	0	0	Mineral Kaynak Tüketimi
25	İç Hava Kalitesi	0	0	0	0	0	0	0	0	Ötrifikasyon
26	İklim Değişimi	0	0	0	0	0	0	0	0	Ozon Tabakasının İncelmesi
27	Mineral Kaynak Tüketimi	0	0	0	0	0	0	0	0	Su Tüketilmesi
28	Arazi Kullanımı	0	0	0	0	0	0	0	0	Fotokimyasal Ozon Oluşumu

Çizelge B.1 (devam) : Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırılmasında kullanılan anket.

• Ankette 11 çevresel etki kategorisi için 55 ikili karşılaştırma sorusu bulunmaktadır. Her karşılaştırmada her bir satır için **yalnız** bir kutunun işaretlenmesi beklenmektedir. Bir çevresel etki kategorisine yaklaştıkça diğer kategori ile karşılaştırdığınızda daha fazla önemli olduğu belirtilmiş olacaktır. İkili karşılaştırmalar için verilen sayıların anlamları üzerinde açıklanmaktadır.

		Mutlak ve aşırı derecede daha fazla önem	İspatlanmış ve çok kuvvetli derecede daha fazla önem	Esaslı veya kuvvetli derecede daha fazla önem	Az miktarda daha fazla önem	Eşdeğer Önem	Az miktarda daha fazla önem	Esaslı veya kuvvetli derecede daha fazla önem	İspatlanmış ve çok kuvvetli derecede daha fazla önem	Mutlak ve aşırı derecede daha fazla önem	
	ÇEVRESEL ETKİ KATEGORİLERİ	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ÇEVRESEL ETKİ KATEGORİLERİ
29	Asitleşme	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	İç Hava Kalitesi
30	Atık Oluşumu	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	İklim Değişimi
31	Fosil Yakıtların Tüketilmesi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Mineral Kaynak Tüketimi
32	Fotokimyasal Ozon Oluşumu	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ötrifikasyon
33	İç Hava Kalitesi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ozon Tabakasının İncelmesi
34	İklim Değişimi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Tüketilmesi
35	Arazi Kullanımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	İç Hava Kalitesi
36	Asitleşme	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	İklim Değişimi
37	Atık Oluşumu	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Mineral Kaynak Tüketimi
38	Fosil Yakıtların Tüketilmesi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ötrifikasyon
39	Fotokimyasal Ozon Oluşumu	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ozon Tabakasının İncelmesi
40	İç Hava Kalitesi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Tüketilmesi
41	Atık Oluşumu	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ötrifikasyon
42	Arazi Kullanımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	İklim Değişimi
43	Asitleşme	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Mineral Kaynak Tüketimi
44	Fosil Yakıtların Tüketilmesi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ozon Tabakasının İncelmesi
45	Fotokimyasal Ozon Oluşumu	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Tüketilmesi
46	Arazi Kullanımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Mineral Kaynak Tüketimi
47	Asitleşme	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ötrifikasyon
48	Atık Oluşumu	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ozon Tabakasının İncelmesi
49	Fosil Yakıtların Tüketilmesi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Tüketilmesi
50	Arazi Kullanımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ötrifikasyon
51	Asitleşme	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ozon Tabakasının İncelmesi
52	Atık Oluşumu	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Tüketilmesi
53	Arazi Kullanımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ozon Tabakasının İncelmesi
54	Asitleşme	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Tüketilmesi
55	Arazi Kullanımı	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Su Tüketilmesi

EK C: Uzman Grup Üyelerinden Oluşan Panelistler**Çizelge C.1 : Uzman grup üyelerinden oluşan panelistler.**

Üniversiteler	Prof. Dr. Yaşar Nuhoglu	YTU- Çevre Müh.
	Prof. Dr. Seval Sözen	İTU- Çevre Müh.
	Prof. Dr. Selahattin İncecik	İTU- Uzak Bilimleri
	Prof. Dr. Mikdat Kadioğlu	İTU- Uzak Bilimleri
	Prof. Dr. İzzet Öztürk	İTU- Çevre Müh.
	Prof. Dr. Gürdal Tuncer	ODTU- Çevre Mühendisliği
	Prof. Dr. Göksel Demirer	ODTU- Çevre Mühendisliği
	Prof. Dr. Mete Tayanç	Marmara Üniversitesi Çevre Müh.
	Prof. Dr. Feza Karaer	Uludağ Üniversitesi- Çevre Müh.
	Prof. Dr. Kadir Kestioğlu	Uludağ Üniversitesi- Çevre Müh.
Kamu Kurumları	Dr. Çağatay Dikmen	TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı- ÇED Genel Müdürü
	Prof. Dr. Cumali Kınacı	TC Orman ve Su İşleri Bakanlığı
	Ayşe Yıldırım Coşgun	TC Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Yüksek Çevre Müh.
	Dr. Yakup Karaaslan	TC Orman ve Su İşleri Bakanlığı
	Ayşe Yasemin Örcü	TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı- Yüksek Çevre Müh.
	Dr. Ahmet Günay	İBB- Çevre Koruma Müdürü
	Dr. Orhan Sevimoğlu	İBB- Deniz Hizmetleri Müdürü
	Dr. Türker Eroğlu	İBB- Atık Hizmetleri Müdürü
	Dr. Sönmez Dağlı	TUBITAK MAM- Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü
Yapı Malzemesi Sektörü	Sezgi Kumbaracıbaşı	IMSAD Çevre Kurulu- Akçansa- Yük. Çevre Müh.
	Emre Güngör	TÇMA-Kalite ve Çevre Kurulu- Çevre Bölüm Bşk.
	Semih Kaçar	YTONG- Kalite ve Çevre Müdürü
	Koray Uygur	BASF- IMSAD Çevre Kurulu Üyesi
	Dilek Bolcan	Trakya Cam- IMSAD Çevre Kurulu Üyesi

EK D: Yirmi Dört Paneliste Göre Hesaplanan Anket Sonuçları**Çizelge D.1 : Her bir paneliste göre hesaplanmış ağırlıklandırma katsayıları.**

Panelistler								
Çevresel Etki K.	1	2	3	4	5	6	7	8
Arazi kullanımı	0.14	0.06	0.09	0.19	0.12	0.11	0.05	0.16
Asitleşme	0.03	0.02	0.01	0.04	0.04	0.01	0.01	0.02
Atık	0.11	0.27	0.045	0.04	0.13	0.05	0.12	0.12
Fosil yakıt tüketimi	0.13	0.13	0.13	0.21	0.16	0.20	0.07	0.22
Fotokimyasal ozon oluşumu	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.04	0.03
İç hava kalitesi	0.13	0.09	0.06	0.03	0.14	0.07	0.19	0.13
Küresel ısınma	0.02	0.10	0.25	0.24	0.05	0.21	0.17	0.07
Mineral kaynak t.	0.12	0.02	0.11	0.02	0.13	0.11	0.05	0.01
Ötrifikasyon	0.04	0.05	0.05	0.01	0.07	0.02	0.02	0.02
Ozon tabasının i.	0.01	0.02	0.04	0.05	0.03	0.01	0.09	0.02
Su tüketimi	0.19	0.17	0.14	0.09	0.04	0.14	0.14	0.14
Tutarsızlık Katsayısı	0.05	0.09	0.09	0.09	0.05	0.09	0.08	0.09

Panelistler								
Çevresel Etki K.	9	10	11	12	13	14	15	16
Arazi kullanımı	0.05	0.18	0.05	0.16	0.18	0.05	0.11	0.03
Asitleşme	0.01	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01	0.03	0.03
Atık	0.17	0.11	0.13	0.12	0.06	0.13	0.15	0.25
Fosil yakıt tüketimi	0.25	0.20	0.13	0.16	0.07	0.23	0.23	0.16
Fotokimyasal ozon oluşumu	0.02	0.04	0.03	0.09	0.01	0.01	0.02	0.02
İç hava kalitesi	0.16	0.03	0.04	0.03	0.16	0.07	0.03	0.12
Küresel ısınma	0.05	0.19	0.15	0.10	0.16	0.24	0.02	0.04
Mineral kaynak t.	0.13	0.05	0.03	0.04	0.02	0.03	0.16	0.04
Ötrifikasyon	0.02	0.01	0.14	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
Ozon tabasının i.	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
Su tüketimi	0.05	0.09	0.20	0.19	0.20	0.14	0.16	0.20
Tutarsızlık Katsayısı	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08

Çizelge D.1 (devam) : Her bir paneliste göre hesaplanmış ağırlıklandırma katsayıları.

Panelistler								
Çevresel Etki K.	17	18	19	20	21	22	23	24
Arazi kullanımı	0.03	0.05	0.11	0.10	0.11	0.09	0.04	0.05
Asitleşme	0.04	0.03	0.04	0.03	0.01	0.07	0.01	0.01
Atık	0.07	0.10	0.07	0.12	0.05	0.08	0.11	0.11
Fosil yakıt tüketimi	0.13	0.22	0.22	0.19	0.20	0.11	0.30	0.25
Fotokimyasal ozon oluşumu	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
İç hava kalitesi	0.16	0.03	0.02	0.08	0.07	0.02	0.08	0.07
Küresel ısınma	0.13	0.25	0.28	0.15	0.21	0.24	0.19	0.23
Mineral kaynak t.	0.13	0.02	0.06	0.07	0.11	0.07	0.04	0.04
Ötrifikasyon	0.06	0.07	0.03	0.05	0.02	0.05	0.02	0.02
Ozon tabasının i.	0.06	0.07	0.03	0.03	0.01	0.06	0.01	0.03
Su tüketimi	0.11	0.06	0.06	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13
Tutarsızlık Katsayısı	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı: Saniye KARAMAN ÖZTAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Malatya, 1981.

Adres: Narcity Maltepe / İstanbul

E-Posta: saniyekaraman@gyte.edu.tr

Lisans: Çukurova Üniversitesi

Yüksek Lisans: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Uluslararası Makaleler

(Uluslararası hakemli ve alan endeksleri kapsamındaki dergilerde yayımlanan makaleler)

1. **Oztas Karaman S.**, Tanacan L., (2014), Development of Local Weighting Factors in the Context of LCIA, International Journal of Advanced Materials Research, Green Technologies and Sustainable Development in Construction (ISSN: 1022-6680, ISBN- 978-3-03835-082-8), Volume:935, pp.293-296.

(Doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.935.293) (Indexed by Elsevier: SCOPUS and EiCompendex (CPX), ISI (ISTP, CPCI, Web of Science), Cambridge Scientific Abstracts (CSA), Chemical Abstracts (CA), Google and Google Scholar google.com, Institution of Electrical Engineers (IEE).

2. **Oztas Karaman S.**, Ipekci Aydın C, (2013), Evaluation of the Embodied Energy for Building Materials in Turkey, International Journal of Advanced Materials Research, Green Building Technologies and Materials II (ISSN:1022-6680, ISBN-13:978-3-03785-687-1), Volume:689, pp.273-277, (doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.689.273). (Indexed by Elsevier: SCOPUS and EiCompendex (CPX), Cambridge Scientific Abstracts (CSA), Chemical Abstracts (CA), Google and Google Scholar google.com, ISI (ISTP, CPCI, Web of Science), Institution of Electrical Engineers (IEE).

Uluslararası Bildiriler

1. **Oztas Karaman S.**, Tanacan L., Development of Local Weighting Factors in the Context of LCIA, GBTM 2013, The 3rd International Conference on Green Building Technologies and Materials, 21- 22 Aralık, 2013, University Technology of Malaysia, Kuala Lumpur, Malezya.
2. **Oztas Karaman S.**, Oguz Z., Tanacan L., A Comparative Analysis of Life Cycle Impact Assessment Methods for Building Materials, Sustainable Building Conference 2013 (SB13), 25- 28 Eylül, 2013, Graz University of Technology, Avusturya.
3. **Oztas Karaman S.**, Ipekci Aydın C., Evaluation of the Embodied Energy for Building Materials in Turkey, GBTM 2012, The 2nd International Conference on Green Building Technologies and Materials, 27-28 Aralık, 2012, Wuhan Institute of Technology, Wuhan, Çin.
4. **Oztas Karaman S.**, Tanacan L., 2014. The Local Parameters in Life Cycle Sustainability Assessment of the Building Materials and the Turkish Construction Sector, ICESA, International Civil Engineering & Architecture Symposium for Academicians, 17- 20 Mayıs, Antalya, Türkiye.

Ulusal Bildiriler

- 1-**Oztas Karaman S.**, Tanacan L., Yapı Malzemelerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinde Nicel Yaklaşımlar, Türkiye, Sürdürülebilir Enerji Etkin Yapılar Sempozyumu ve Sergisi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, 7-8 Ocak, 2014.
- 2-**Karaman S.**, Esin T., Sağlık Yapılarında Kullanılan Yapı Malzemelerinin İnsan Sağlığı ve Konforu Üzerindeki Etkileri, 5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, pp 169-179, İTÜ, İstanbul , Kasım 2010.
- 3- Esin T., **Karaman S.**, Sağlık Ocaklarında Konfor Koşullarının Kullanıcı Memnuniyeti Açısından Değerlendirilmesi, Yapı Fiziği Kongresi, pp 31- 36, YTÜ, İstanbul, Mart 2010.

Diğer Yayınlar

Karaman, S., Sağlık Yapılarında Konfor Koşullarının Sağlanması Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi ABD, 2009.

Bilimsel Araştırma Projeleri

Yapı Malzemesi Sektörü İçin Bir Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Modelinin Oluşturulması, İstanbul Teknik Üniversitesi – Bilimsel Araştırma Projeleri, Başlangıç Tarihi: Ekim 2011.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Uluslararası Makaleler

▪ **Oztas Karaman S.**, Tanacan L., (2014), Development of Local Weighting Factors in the Context of LCIA, International Journal of Advanced Materials Research, Green Technologies and Sustainable Development in Construction (ISSN: 1022-6680, ISBN- 978-3-03835-082-8), Volume:935, pp.293-296.

(Doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.935.293) (Indexed by Elsevier: SCOPUS and EiCompendex (CPX), ISI (ISTP, CPCI, Web of Science), Cambridge Scientific Abstracts (CSA), Chemical Abstracts (CA), Google and Google Scholar google.com, Institution of Electrical Engineers (IEE).

Uluslararası Bildiriler

▪ **Oztas Karaman S.**, Oguz Z., Tanacan L., 2013. A Comparative Analysis of Life Cycle Impact Assessment Methods for Building Materials, Sustainable Building Conference 2013 (SB13), Eylül 25-28, Graz University of Technology, Avusturya.

▪ **Oztas Karaman S.**, Tanacan L., 2013. Development of Local Weighting Factors in the Context of LCIA, GBTM 2013, The 3rd International Conference on Green Building Technologies and Materials, Aralık 21-22, University Technology Malaysia (UTM), Malezya.

▪ **Oztas Karaman S.**, Tanacan L., 2014. Towards Sustainable Building Materials; A Life Cycle Impact Assessment Method for the Turkish Construction Sector, BUILDwell 2014, Mart 19-22, Kaliforniya, USA.

▪ **Oztas Karaman S.**, Tanacan L., 2014. The Local Parameters in Life Cycle Sustainability Assessment of the Building Materials and the Turkish Construction Sector, ICESA, International Civil Engineering and Architecture Symposium for Academicians, 17- 20 Mayıs, Antalya, Türkiye.

▪ **Oztas Karaman S.**, Tanacan L., 2015. Verification of Life Cycle Impact Assessment Model Developed for the Turkish Building Materials Sector, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, 28-30 Mayıs, Ankara, Türkiye. (kabul edildi)

Ulusal Bildiriler

▪ **Oztas Karaman S.**, Tanacan L., 2014. Yapı Malzemelerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinde Nicel Yaklaşımlar- Türkiye, Sürdürülebilir Enerji Etkin Yapılar Sempozyumu ve Sergisi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, 7-8 Ocak, İstanbul, Türkiye.

