

**YEŞİL BİNA SERTİFİKASI ALMAYI HEDEFLEYEN YAPILAR İÇİN YAPI
MALZEMESİ SEÇİMİNDE ÇEVRESEL PERFORMANS ODAKLI BİR
YAKLAŞIM ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

Şerife AK

Danışman

Prof. Dr. İsmail ZORLUER

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Osman AYTEKİN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Nisan 2023

Bu tez çalışması 17.FEN.BİL.42 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

YEŞİL BİNA SERTİFİKASI ALMAYI HEDEFLEYEN YAPILAR
İÇİN YAPI MALZEMESİ SEÇİMİNDE ÇEVRESEL
PERFORMANS ODAKLI BİR YAKLAŞIM ÖNERİSİ

Şerife AK

Danışman

Prof. Dr. İsmail ZORLUER

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Osman AYTEKİN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Nisan 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Şerife AK tarafından hazırlanan “Yeşil Bina Sertifikası Almayı Hedefleyen Yapılar İçin Yapı Malzemesi Seçiminde Çevresel Performans Odaklı Bir Yaklaşım Önerisi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 07/04/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği / oy çokluğu** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman :

İkinci Danışman :

İmza

Başkan :

Üye :

Üye :

Üye :

Üye :

Üye :

Üye :

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

..... /..... /..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

07/04/2023

Şerife AK

ÖZET

Doktora Tezi

YEŞİL BİNA SERTİFİKASI ALMAYI HEDEFLEYEN YAPILAR İÇİN YAPI MALZEMESİ SEÇİMİNDE ÇEVRESEL PERFORMANS ODAKLI BİR YAKLAŞIM ÖNERİSİ

Şerife AK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail ZORLUER

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Osman AYTEKİN

İnşaat sektöründe sürdürülebilir yapıım stratejilerinin benimsenmesiyle birlikte sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi yeni bir karar problemi yaratmıştır. Bu çalışma kapsamında çevresel açıdan sürdürülebilir yapı malzemesi seçiminde yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) temelli bir seçim yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen yaklaşım iki modülden oluşmaktadır. Birinci modülde, seçim problemine dahil edilen yapı malzemeleri çevresel performansları bakımından kendi aralarında değerlendirilmekte ve değerlendirme puanlarına göre sıralanmaktadır. İkinci modülde, karar vericinin seçtiği malzemenin LEED (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik) yeşil bina derecelendirme sistemine uygunluğu kontrol edilmekte ve puan kazanımının ön değerlendirmesi yapılmaktadır.

YDD, uluslararası ölçekte kabul görmüş bir metodolojiye göre uygulanmaktadır. YDD çalışmalarının yürütüldüğü zaman ve mekana bağlı olarak uygulama sonuçları farklılık göstermektedir. Bu nedenle YDD uygulamalarında bölgesel adaptasyonların yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Çalışmada, yapı malzemelerinin sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde literatürde kabul görmüş on iki adet çevresel etki kategorisi dikkate alınmıştır. Çevresel etki kategorilerinin göreceli önemlerinin belirlenmesinde Türkiye'deki yeşil bina sektör paydaşlarının görüşlerine başvurulmuştur. Görüşmelere bağlı olarak çevresel etki kategorilerinin ağırlıklarının atanmasında analitik hiyerarşi sürecinden (AHP) yararlanılmıştır. Seçim sürecine dahil edilen yapı malzemelerinin

yaşam döngüleri içindeki envanter verileri BEES (Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik) Online veri tabanından alınmıştır. Çevresel etki kategorilerinin normalleştirme değerleri hesaplanırken Türkiye’de yürürlükte olan standartlar, mevzuat, bakanlıkların çalışmaları, emisyon ölçüm verileri ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri dikkate alınmıştır.

Önerilen yaklaşımla seçilen malzemenin yapıda kullanılmasıyla, LEED yeşil bina derecelendirme sisteminden puan kazanım potansiyelleri, kredi başarı oranlarının hesaplanmasıyla belirlenmektedir. Kredi başarı oranlarının kıyaslanmasında referans bilgi olarak Türkiye’deki LEED yeşil bina sertifikasına sahip kırk yedi adet binanın puan kartları dikkate alınmıştır. Karşılaştırma malzemelerinin YDD süreçlerine ilişkin referans bilgileri literatür taramasından elde edilmiştir. Önerilen yaklaşım çerçevesi örnek bir senaryo üzerinde test edilmiştir. Önerilen yaklaşım kapsamında yapı malzemesi seçimi gerçekleştirildiğinde, çalışmada değerlendirilen altı adet LEED kredisinin üç tanesinin kredi başarı oranlarında iyileştirme sağlandığı görülmüştür.

Çalışmada sunulan yaklaşım, sürdürülebilir yapı malzemelerinin seçimine rehberlik ederken aynı zamanda LEED yeşil bina sertifikası alma hedefi bulunan yapılar için uygun malzeme seçiminde etkili olacaktır. Ayrıca pek çok yeşil malzeme alternatifinin varlığında karar vericilerin karar verme süreçlerini kolaylaştıracaktır.

2023, xv + 159 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir yapım, Yapı malzemesi seçimi, Yaşam döngüsü değerlendirme, Yeşil bina sertifikası, Çevresel etki, Çevresel performans.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE-ORIENTED APPROACH PROPOSAL IN BUILDING MATERIAL SELECTION FOR A GREEN BUILDING CERTIFICATE

Şerife AK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. İsmail ZORLUER

Co-Supervisor: Asst. Prof. Osman AYTEKİN

With the adoption of sustainable construction strategies in the construction industry, the selection of sustainable building materials has created a new decision problem. Within the scope of this study, a life-cycle assessment (LCA)-based selection approach is proposed for environmentally sustainable building material selection. The proposed approach consists of two modules. In the first module, the building materials in the selection problem are evaluated among themselves in terms of their environmental performance and ranked according to their evaluation scores. In the second module, the conformity assessment of the material chosen by the decision maker to the LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) green building rating system is checked and a preliminary evaluation of the score is made.

LCA is implemented according to an internationally accepted methodology. The results of the application differ depending on the space and time where LCA studies are carried out. For this reason, it is necessary to make regional adaptations in LCA applications. In the study, twelve environmental impact categories accepted in the literature were taken into account in the sustainability evaluations of building materials. The opinions of green building sector stakeholders in Turkey were consulted in determining the relative importance of environmental impact categories. AHP technique was used to determine the weights of environmental impact categories based on semi-structured interview results. Inventory data within the life cycle of the building materials included in the

selection process were taken from the BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability) Online database. While calculating the normalization values of the environmental impact categories, the standards and the legislation in force in Turkey, the work of the ministries, emission measurement data and the data of the Turkish Statistical Institute were taken into account.

By using the material selected through the proposed approach in the building, the potential to gain points from the LEED green building rating system is determined by calculating the credit success rates. The scorecards of forty-seven buildings with LEED green building certificate in Turkey were taken into consideration as reference information when comparing loan credit achievement degree. Reference information on the LCA processes of the comparison materials was obtained from the literature review. The proposed approach framework is tested on a scenario. When the construction material selection was made within the scope of the proposed approach, it was observed that three of the six LEED credits evaluated in the study improved the credit achievement degree.

While the approach presented in the study will guide the selection of sustainable building materials, it will also be effective in the selection of suitable materials for buildings with the goal of obtaining LEED green building certification. In the presence of many green material alternatives, it will facilitate the decision-making processes of decision makers.

2023, xv + 159 pages

Keywords: Sustainable construction, Building material selection, Life cycle assessment, Green building certification, Environmental impact, Environmental performance.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yapmış olduğu katkılardan dolayı danışmanım Prof. Dr. İsmail ZORLUER'e,

Çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve birikimleri ile beni yönlendiren, hoşgörü ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Osman AYTEKİN'e,

Pozitif yaklaşımı ve değerli yönlendirmeleri ile çalışmalarına destek veren Dr. Öğr. Üyesi Hakan KUŞAN'a,

Tezimin düzenlemesi aşamasında destek olan değerli hocam Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU'na,

Tez çalışmama 17.FENBİL.42 nolu proje ile destek veren Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK birimine,

Hayatımda attığım her adımda beni koşulsuz destekleyen, bu zorlu süreçte çok büyük fedakarlık gösteren eşsiz güzellikteki annem Yeter GÖKÇE'ye ve babam Namık GÖKÇE'ye,

Hem can yoldaşlarım hem de en iyi arkadaşlarım olan sevgili ablam Huriye ERTEKİN'e ve kardeşim Taha GÖKÇE'ye,

Çalışmamı yürüttüğüm uzun ve zorlu süre boyunca beni hiç yalnız bırakmayan, bana olan inancını kaybetmeyen, varlığıyla beni her gün daha da güçlendiren en yakın arkadaşım, dostum, sırdaşım, hayattaki en büyük şansım olan sevgili eşim Serkan AK'a

Bu süreçte aramıza katılan ve tez yazım süresince zamanından çalmak zorunda kaldığım biricik oğlum Gürkan'a

Sonsuz teşekkür ederim.

Şerife AK
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	5
2.1 Sürdürülebilir Yapım	5
2.1.1 Sürdürülebilir Yapıma İlişkin Düzenlemeler	7
2.1.1.1 Standartlar	7
2.1.1.2 Mevzuat	8
2.1.1.3 Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı	9
2.2 Yapıların Sürdürülebilirliği.....	10
2.2.1 Yeşil Bina Derecelendirme Sistemleri	11
2.2.2 Yaşam Döngüsü Değerlendirme Araçları	15
2.2.3 Çevresel Ürün Beyanları	16
2.3 Yapı Malzemelerinin Sürdürülebilirliği.....	17
2.4 Yapı Malzemelerinin Yaşam Döngüleri İçindeki Çevresel Etkileri	18
2.5 Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yaklaşımı	30
2.5.1 Kavramlar.....	33
2.5.1.1 Ürün Sistemi.....	34
2.5.1.2 Fonksiyonel Birim	34
2.5.1.3 Sistem Sınırı	34
2.5.1.4 Yaşam Sonu Yaklaşımı	36
2.5.2 YDD’de Amaç ve Kapsamın Tanımı	37
2.5.3 YDD’de Envanter Analizi.....	38
2.5.4 YDD’de Etki Değerlendirmesi.....	40
2.5.4.1 Ağırlıklandırma	44
2.5.4.2 Normalleştirme	49
2.5.4.3 Gruplandırma.....	50

2.5.5 YDD’de Yorum.....	51
2.6 LEED Yeşil Bina Derecelendirme Sistemi Kredileri	52
2.7 Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar	59
3. MATERYAL ve METOT	69
3.1 Materyal	71
3.2 Metot.....	72
3.2.1 Yapı Malzemelerinde YDD’nin Amaç ve Kapsam Tanımı Aşaması	72
3.2.2 Yapı Malzemelerinde YDD’nin Envanter Analizi Aşaması.....	72
3.2.3 Yapı Malzemelerinde YDD’nin Etki Değerlendirmesi Aşaması.....	72
3.2.3.1 Emisyon Faktörlerinin Seçilmesi ve Çevresel Etki Kategorilerinin Karakterize Edilmesi Yöntemi	73
3.2.3.2 Çevresel Etki Kategorilerinin Ağırlıklandırılması Yöntemi	83
3.2.3.3 Çevresel Etki Kategorilerinin Normalleştirilmesi Yöntemi.....	84
3.2.3.4 Yapı Malzemelerinin Değerlendirme Puanlarının Hesaplanması Yöntemi	86
3.2.4 Yapı Malzemelerinde YDD’nin Yorum Aşaması.....	87
3.2.5 Malzemelerin Uygunluk Kontrolü	87
3.2.5.1 Uygunluk Kontrolü Yapılacak LEED Yeşil Bina Derecelendirme Sistemi Kredileri.....	87
3.2.5.2 Kredi Başarı Oranı Hesaplanma Yöntemi	88
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	90
4.1 Ağırlık Değerlerinin Hesaplanması	90
4.2 Normalleştirme Değerlerinin Hesaplanması.....	93
4.2.1 Asitleşme Normalleştirme Değerinin Hesaplanması	94
4.2.2 Ekolojik Zehirlilik Normalleştirme Değerinin Hesaplanması	94
4.2.3 Fosil Yakıt Tüketimi Normalleştirme Değerinin Hesaplanması.....	95
4.2.4 Fotokimyasal Sis Oluşumu Normalleştirme Değerinin Hesaplanması	96
4.2.5 Hava Kirliliği Normalleştirme Değerinin Hesaplanması.....	97
4.2.6 İç Mekan Hava Kalitesi Normalleştirme Değerinin Hesaplanması	98
4.2.7 İnsan Sağlığı Normalleştirme Değerinin Hesaplanması	99
4.2.8 Küresel Isınma Normalleştirme Değerinin Hesaplanması.....	99
4.2.9 Ozon Tabakasının İncelmesi Normalleştirme Değerinin Hesaplanması ...	100
4.2.10 Ötrofikasyon Normalleştirme Değerinin Hesaplanması	101
4.2.11 Su Tüketimi Normalleştirme Değerinin Hesaplanması	104
4.2.12 Yaşam Alanı Değişikliği Normalleştirme Değerinin Hesaplanması	104

4.3 Değerlendirme Puanlarının Hesaplanması.....	105
4.4 Kredi Başarı Oranlarının Hesaplanması	109
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	117
6. KAYNAKLAR.....	121
ÖZGEÇMİŞ.....	140
EKLER	141



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

CH ₂ CHCHO	Akrolein
NH ₃	Amonyak
NH ₄ ⁺	Amonyum
As	Arsenik
C ₁₂ H ₁₀	Asenaften
C ₁₂ H ₈	Asenaftilen
C ₂ H ₄ O	Asetaldehit
N	Azot
NO _x	Azot Oksit
NO ₂	Azot Dioksit
NO	Azot Monoksit
Cu	Bakır
C ₆ H ₆	Benzen
C ₂₀ H ₁₂	Benzo (a) piren
C ₂₂ H ₁₂	Benzo (g, h, i) Perilen
Be	Berilyum
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CHO	Butiraldehit
CH ₂ CHCHCH ₂	Bütadien
CH ₃ CH ₂ CHCH ₂	Büten
Hg	Cıva
N ₂ O	Diazot Monoksit
C ₄ H ₁₁ O ₂ N	Dietanolamin
CCl ₂ F ₂	Diklorodiflorometan
CH ₂ Cl ₂	Diklorometan
C ₂ H ₆ O ₄ S	Dimetil Sülfat
HOCH ₂ CH ₂ OH	Etilen Glikol
C ₆ H ₅ OH	Fenol
CH ₂ O	Formaldehit
PO ₄ ³⁻	Fosfat
P	Fosfor
C ₄ H ₄ O	Furan
CF ₃ Br	Halon 1301
C ₂ Cl ₆	Heksakloroetan
C ₆ H ₁₂ O	Heksanal
HFC	Hidroflorokarbon
CHF ₂ Cl	Hidrofloroklorokarbon 22
HF	Hidrojen Florid
HCl	Hidrojen Klorür
HCN	Hidrojen Siyanür
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
(CH ₃) ₂ CHCHO	İzobütraldehid
Cd	Kadmiyum
CO	Karbon Monoksit

Simgeler (Devam)

CO _x	Karbon Oksit
CCl ₄	Karbon Tetraklorür
CO ₂	Karbondioksit
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
CFC	Kloroflorokarbon
CHCl ₃	Kloroform
CH ₃ Cl	Klorometan
Co	Kobalt
Cr	Krom
C ₄ H ₆ O	Krotonaldehid
C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	Ksilen
Pb	Kurşun
S	Kükürt
SO _x	Kükürt Oksit
SO ₂	Kükürtdioksit
CH ₄	Metan
CH ₃ Br	Metil Bromür
C ₁₁ H ₁₀	Metil Naftalin
C ₁₀ H ₈	Naftalin
Ni	Nikel
NO ₃ ⁻	Nitrat
NO ₂	Nitrit
O ₃	Ozon
CH ₃ CH ₂ CH ₃	Propan
CH ₃ CH ₂ CHO	Propiyonaldehit
Se	Selenyum
H ₂ O	Su
H ₂ SO ₄	Sülfirik Asit
CF ₄	Tetraflorometan
C ₆ H ₅ CH ₃	Toluen
CH ₃ CCl ₃	Trikloreten
C ₂ H ₅ Cl ₃	Trikloropropan
C ₆ H ₃ (CH ₃) ₃	Trimetil Benzen
V	Vanadyum

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHP	Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
ANP	Analytical Network Process (Analitik Ağ Süreci)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Birliği)
BEES	Building for Environmental and Economic Sustainability (Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik)

Kısaltmalar (Devam)

B.E.S.T.	Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım
BIM	Building Information Model (Yapı Bilgi Modellemesi)
BM	Birleşmiş Milletler
BRE	Building Research Establishment (İngiliz Bina Araştırma Kurumu)
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (Bina Araştırmaları Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Metodu)
CEIP	Centre on Emission Inventories and Projections (Emisyon Envanterleri ve Projeksiyonları Merkezi)
CEN	European Committee for Standardization (Avrupa Standardizasyon Komitesi)
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization (Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi)
CLRTAP	Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (Uzun Menzilli Sınır Aşan Hava Kirliliği Sözleşmesi)
CORINE	Coordination of Information on the Environment (Çevresel Bilginin Koordinasyonu)
ÇEDBİK	Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
DALY	Disability-Adjusted Life Year (Engelliğe Göre Ayarlanmış Yaşam Yılı)
DEMATEL	Decision Making Trail and Evaluation Laboratory (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı)
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme (Avrupa İzleme ve Değerlendirme Programı)
EN	Euronorm
EPD	Environmental Product Declarations (Çevresel Ürün Beyanları)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi)
FOEN	Federal Office for the Environment (İsviçre Federal Çevre Ofisi)
IHME	Institute for Health Metrics and Evaluation (Sağlık Ölçümleri Değerlendirme Enstitüsü)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
ISMAS	Instrument for the Selection of More Sustainable Materials (Daha Sürdürülebilir Malzeme Seçimi için Araç)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standart Organizasyonu)
IUCN	Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği)
LEED	Leadership in Energy & Environmental Design (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik)
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NIST	National Institute of Standards and Technology (Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü)

Kısaltmalar (Devam)

NMVOG	Non Methane Volatile Organic Compounds (Metan Olmayan Uçucu Organik Bileşikler)
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
PFAS	Poliflorlu Alkil Madde
PFC	Poliflorlu Kimyasal
PM	Partikül Madde
PROMETHEE II	Preference Ranking Organizational Method for Enrichment Evaluation (Zenginleştirme Değerlendirmeleri için Tercih Sıralama Organizasyon Yöntemi)
PVC	Polivinil Klorür
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği)
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği)
TRACI	Tool for Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts (Kimyasalların ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılması ve Değerlendirilmesi Aracı)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP	United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
US EPA	US Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)
USGBC	US Green Building Council (Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi)
UV	Ultraviyole
VOC	Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Bileşikler)
WMO	World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)
YeS-TR	Ulusal Yeşil Sertifika Sistemi
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirme
YLD	Years of Life with Disabilities (Engellilikle Geçirilen Yaşam Yılı)
YLL	Years of Life Lost (Erken Ölüm Sebebiyle Kaybedilen Yaşam Yılı)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Sürdürülebilir kalkınmanın iç içe geçmiş çember modeli (Adams 2006, Gökçe vd. 2018).....	5
Şekil 2.2 Bir binanın basitleştirilmiş yaşam döngüsü süreci (Lippiatt 1999).	11
Şekil 2.3 Tip III çevresel ürün beyanı uygulama metotları (ISO 14025 2006).....	17
Şekil 2.4 Malzemelerin yaşam döngüsü süreci (Bakhoum ve Brown 2012).	19
Şekil 2.5 Bir ürünün basitleştirilmiş yaşam döngüsü (Klöppfer ve Grahl 2014).....	31
Şekil 2.6 Yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları (ISO 14040 2006).	32
Şekil 2.7 Yapı üretiminde yapı malzemelerinin sistem sınırları (Häfliger vd. 2017). ...	36
Şekil 2.8 BEES modeli (İnt. Kyn. 6).....	39
Şekil 2.9 BEES envanter verileri kategorileri (İnt. Kyn. 6).	40
Şekil 2.10 Kategori göstergesi kavramı (ISO 14044 2006).	41
Şekil 2.11 Hiyerarşik yapı.	46
Şekil 2.12 Yorum aşamasındaki unsurlarla YDD'nin diğer aşamaları arasındaki ilişkiler (ISO 14044 2006).....	51
Şekil 3.1 Sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi ve LEED uygunluk kontrol süreci.....	69
Şekil 3.2 Ortalama kredi başarı oranları.....	88
Şekil 4.1 Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan kriterler ve alt kriterler	91
Şekil 4.2 Katılımcı oylamaları sonucunda elde edilen çevresel etki kategorisi ağırlıkları.	93
Şekil 4.3 Farklı ağırlık ve normalleştirme değerlerine göre hesaplanan Grup 1 malzemeleri değerlendirme puanları.	107
Şekil 4.4 Farklı ağırlık ve normalleştirme değerlerine göre hesaplanan Grup 2 malzemeleri değerlendirme puanları.	108
Şekil 4.5 Değerlendirmeler sonucu elde edilen kredi başarı oranları.	115

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 YDD araçları ve göstergeleri.	15
Çizelge 2.2 EN 15804+A2 ana çevresel etki kategorileri (EN 15804+A2 2019).	19
Çizelge 2.3 EN 15804+A2 ek çevresel etki kategorileri (EN 15804+A2 2019).	21
Çizelge 2.4 BEES çevresel etki kategorileri.	22
Çizelge 2.5 Hava kirliliğinin kaynakları ve etkileri (Çevre Mühendisleri Odası 2021). 25	
Çizelge 2.6 YDD’de aşamaya göre dikkat edilmesi gereken durumlar (Reap vd. 2008).	33
Çizelge 2.7 Etki değerlendirmesi kavramlarına örnekler.	42
Çizelge 2.8 Etki değerlendirmesinin unsurları (ISO 14040 2006).	42
Çizelge 2.9 Çevresel etki kategori ağırlıkları (İnt. Kyn. 6).	45
Çizelge 2.10 İkili karşılaştırma matrisi.	47
Çizelge 2.11 Temel ölçek.	47
Çizelge 2.12 Rassallık göstergeleri.	49
Çizelge 2.13 LEED’de YDD çevresel etki kategorileri.	54
Çizelge 3.1 Çalışmada değerlendirilen yapı malzemeleri.	71
Çizelge 3.2 Asitleşme potansiyeli emisyon faktörleri.	74
Çizelge 3.3 Ekolojik zehirlilik potansiyeli emisyon faktörleri.	75
Çizelge 3.4 Fosil yakıt tüketim potansiyeli emisyon faktörleri.	76
Çizelge 3.5 Fotokimyasal sis oluşumu potansiyeli emisyon faktörleri.	77
Çizelge 3.6 Hava kirliliği emisyon faktörleri.	78
Çizelge 3.7 İnsan sağlığı emisyon faktörleri.	79
Çizelge 3.8 Küresel ısınma potansiyeli emisyon faktörleri.	80
Çizelge 3.9 Ozon tabakasının incilmesi potansiyeli emisyon faktörleri.	81
Çizelge 3.10 Ötrofikasyon potansiyeli emisyon faktörleri.	82
Çizelge 3.11 Yaşam alanı değişikliği potansiyeli emisyon faktörleri.	83
Çizelge 4.1 İkili karşılaştırma matrisi.	92
Çizelge 4.2 Asitleşme indeksi ve normalleştirme değerinin belirlenmesi.	94
Çizelge 4.3 Ekolojik zehirlilik indeksi ve normalleştirme değerinin belirlenmesi.	95
Çizelge 4.4 Hava kirliliği indeksi ve normalleştirme değerini belirlenmesi.	98
Çizelge 4.5 İnsan sağlığı indeksi ve normalleştirme değerinin belirlenmesi.	99
Çizelge 4.6 Ötrofikasyon indeksi ve normalleştirme değerinin belirlenmesi.	102
Çizelge 4.7 Normalleştirme değerleri.	105

Çizelge 4.8 Grup 1-Set 1 hesaplamalarından elde edilen iyileştirme oranları.	111
Çizelge 4.9 Grup 2-Set 1 hesaplamalarından elde edilen iyileştirme oranları.	113



1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler (BM) 2021 yılı Küresel Nüfus Artışı ve Sürdürülebilir Kalkınma raporuna göre 1950’de 2,5 milyar olan dünya nüfusunun 2021 yılında 7,9 milyara ulaşarak üç kattan daha fazla arttığı ifade edilmektedir. Bu sayının daha da artacağı öngörülmektedir. Dünya üzerindeki farklı gelişmişlik düzeyine sahip olan ülkeler, mevcut teknolojiye ve mevcut kaynaklara eşit bir şekilde ulaşamamaktadır. Kaynak tüketim miktarı, dünyanın her yerinde gelişmiş ülkelerin tüketim düzeyinde olsaydı bile günümüz mevcut kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde insanların ihtiyaçlarını karşılayamayacağı ortaya çıkmıştır. Gelişmiş ülkeler bugünkü refah düzeylerine kaynak yoğun tüketim ve üretim sonucu ulaşmışlardır (UN 2021). Refah düzeyini artıran, insanların yaşam standartlarını yükselten her bir faaliyet doğrudan veya dolaylı olarak çeşitli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu faaliyetler pek çok noktada birbiriyle ilişkilendirilebilmektedir. Bu nedenle net bir ayırım yapmak çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Nüfus artışı da her ne kadar çevresel problemlerin açığa çıkmasına doğrudan neden olmasa da ortaya çıkışını hızlandırmaktadır.

Nüfus artışına paralel olarak artan kentleşme oranları, çevre sorunlarına neden olan bir diğer etmendir. 2018 yılında dünya nüfusunun kentlerde yaşama oranı %55,3 iken bu oranın 2030 yılında %60’ı bulması beklenmektedir (UN 2018). Dünya nüfusunun yarısından fazlasının kentsel alanlarda yaşaması, başta barınma gereksinimi olmak üzere insanların sosyal, kültürel ve ekonomik faaliyetleri için yapılara duydukları ihtiyaçları artırmaktadır. Bu noktada inşaat sektörü, çevresel sorunlara neden olan etmenlerin bir parçası haline gelmektedir. İnşaat mühendisliği işlerindeki artış, diğer bütün ekonomik faaliyetlerde olduğu gibi en başta fosil yakıt tüketimine bağlı olarak karbondioksit (CO₂) emisyonlarının artmasına, bunun sonucu olarak da bugün dünyayı tehdit eden ve en büyük çevre sorunu olan küresel ısınmanın artmasına neden olmaktadır. Ayrıca yapılaşma sürecinde arazi kullanımı, su kullanımı, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı artmakta sonuç olarak da hava, su, toprak kirliliği, atık oluşumu gibi problemler ortaya çıkmaktadır.

Küresel tehditler, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda hareket etmeyi bir seçimden çok zorunluluk haline getirmektedir. Yenilenebilir enerji kullanımının sağlanması,

sürdürülebilir ekonomik büyüme, çevre dostu üretim, atık azaltma, geri dönüşüm, sürdürülebilir yerleşme ve sürdürülebilir kentleşmenin sağlanması BM'nin 2030 yılı sonuna kadar ulaşmayı planladığı sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden bazılarıdır.

Dünyadaki toplam sera gazı emisyonlarının üçte biri inşaat sektörü kaynaklıdır (Häfliger vd. 2017). Bu nedenle sektör, sürdürülebilir kalkınmada çok önemli bir noktada yer almaktadır. Geçmişte yapıların doğrudan enerji kullanımları ve buna bağlı olarak açığa çıkan emisyonlar sürdürülebilirlik ölçütü olarak dikkate alınmaktayken, sonraki süreçte dolaylı enerji kullanımları da sürdürülebilirlik değerlendirmeleri kapsamına dahil edilmiştir. Bu durum küresel sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda yeni tasarım anlayışlarının benimsenmesi, ülke yönetimleri tarafından yapıların enerji kullanımlarına ilişkin daha katı yasal düzenlemeler uygulanmaya başlamasının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Sartori ve Hestnes 2007).

Yapılarda kullanılan malzemelerin hammaddelerinin temini, hammaddenin işlenerek yapı malzemesi haline getirilmesi, inşaat sahalarına malzemelerin nakliye edilmesi gibi aşamalar yapıların gömülü enerji kullanımını gerektiren süreçlerdir. Sürdürülebilirlik kriterleri doğrultusunda gömülü enerjisi düşük yapı malzemelerinin seçilmesi çevresel etkilerin azalması anlamına da gelmektedir (Weißenberger vd. 2014). Yapı malzemelerinin çevre üzerinde oluşturdukları olumsuz etkilerin azaltılması amacıyla çevresel performans değerlendirmelerinde sık başvurulanan yöntemlerden biri de YDD temelli yaklaşımlardır. YDD ile yapı malzemelerinin yaşam döngüleri içerisindeki neden olabileceği muhtemel çevresel etkiler önceden belirlenebilmektedir.

Günümüzde yapıların sürdürülebilirlik ölçütlerinden biri de yeşil bina derecelendirme sistemleri kapsamında yapıların sertifikalandırılmasıdır. Bu süreçte sürdürülebilir yapı malzemeleri, sürdürülebilir yapıların en önemli bileşenleri haline gelmektedir. Yapıların sertifikalaşma sürecinin giderek arttığı günümüzde yeşil, sürdürülebilir veya çevre dostu olarak adlandırılan malzeme alternatiflerinin de arttığı görülmektedir. Avrupa Birliği (AB) Yeşil Mutabakatı ve ülkelerin yerel mevzuatlarındaki bağlayıcı düzenlemeler kapsamında sürdürülebilir malzeme alternatiflerinin daha da artacağı açıktır. Birçok sürdürülebilir malzemenin varlığında hangisinin daha sürdürülebilir olduğuna karar

vermek yeni bir karar problemi olarak karşımıza çıkacaktır. Bu noktada malzemelerin çevresel performanslarının derecelendirilmesi bir seçim alternatifi olacaktır.

Bütün bu bilgiler ışığında bu çalışmanın amaçları;

- i) Sürdürülebilir yapıma ilişkin Türkiye’deki mevcut durumun ve yasal dayanakların irdelenmesi,
- ii) Türkiye’nin bölgesel adaptasyonunun sağlandığı, YDD tabanlı, çevresel sürdürülebilirliği yüksek yapı malzemesi seçim süreci geliştirilmesi,
- iii) Çevresel sürdürülebilirlik değerlendirmesinde uluslararası ölçekte kabul görmüş çevresel etki kategorilerinden farklı olarak Türkiye’de dikkate alınacak çevresel etki kategorilerinin varlığının araştırılması,
- iv) Çevresel etki kategorilerinin göreceli önemlerine göre ağırlıklarının belirlenmesi,
- v) Seçilen referans yıl için Türkiye’nin normalleştirme değerlerinin hesaplanması,
- vi) Sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi sağlanırken, seçilen malzemenin aynı zamanda LEED yeşil bina derecelendirme sistemine uygunluğunun kontrol edildiği, puan kazanımının ön değerlendirmesinin yapıldığı bir yaklaşım önerilmesi,
- vii) Önerilen yaklaşımın örnek bir senaryo üzerinde uygulamasının yapılması,

olarak sıralanabilir.

Yukarıda sıralanan çalışmanın hedefleri doğrultusunda tez çalışmasının birinci bölümünde çalışmanın amacı ve kapsamı ortaya konmuştur.

İkinci bölüm, çalışmaya ilişkin literatür bilgilerini içermektedir. Bu bölümde, sürdürülebilir yapı, sürdürülebilir yapıma ilişkin yasal dayanaklar ve sınırlamalar,

yapıların sürdürülebilirliklerinin ölçülmesinde kullanılan araçlar, yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımı, yapı malzemelerinin yaşam döngüleri içerisindeki çevresel etkileri araştırılmış ve açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, çevresel performans değerlendirmesi yapılan yapı malzemelerinin, çevresel performans belirleme yöntemlerinin, LEED yeşil bina derecelendirme sistemine uygunluk kontrol yönetiminin ve kredi başarı oranı hesaplama yönteminin detaylarına değinilmiştir.

Dördüncü bölüm, üçüncü bölümde açıklanan yöntemlerin çalışma kapsamında uygulanması sürecini içermektedir. Bu bölümde, YDD metodolojisine uygun olarak, seçilen çevresel etki kategorilerinin ağırlıklarının hesaplanmasına, normalleştirme değerlerinin hesaplanmasına, yapı malzemelerinin çevresel performanslarına göre değerlendirme puanlarının hesaplanmasına, değerlendirme puanına göre seçilen yapı malzemelerinin LEED yeşil bina derecelendirme sistemine uygunluğunun kontrol edilerek puan kazanımının ön kontrolünün gerçekleştirilmesine ilişkin bulgular ve tartışmalar verilmiştir.

Beşinci bölüm, tez çalışmasının değerlendirilmesinin yapıldığı sonuçların ortaya koyulduğu, önerilerin sunulduğu bölümdür.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

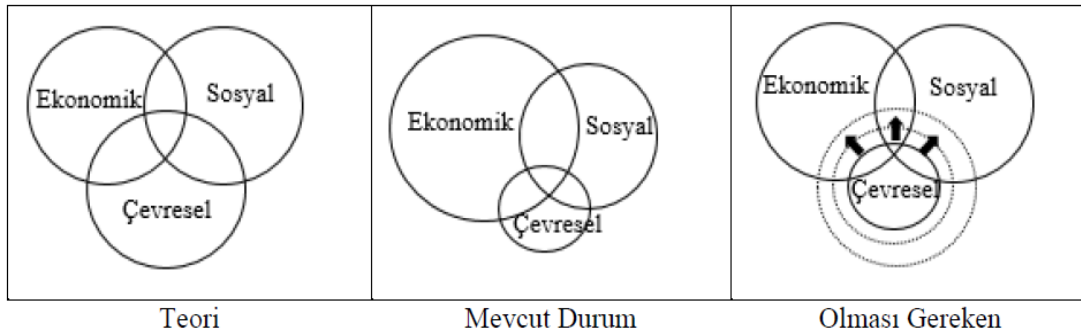
Çalışmanın bu bölümünde, sürdürülebilir yapım, yapılarda ve yapı malzemelerinde sürdürülebilirlik, yapı malzemelerinin yaşam döngüleri içerisindeki çevresel etkileri, yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımı ve LEED yeşil bina derecelendirme sistemi kredilerine ilişkin detaylar açıklanmaktadır.

2.1 Sürdürülebilir Yapım

Sürdürülebilirlik kavramı, pek çok disiplini yakından ilgilendirdiğinden literatürde, sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilirlik kavramlarının birçok tanımı bulunmaktadır (Moore vd. 2017).

Sürdürülebilir kalkınma, ilk olarak Brundtland Raporu'nda *“gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden, bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilmek”* şeklinde tanımlanmıştır (UN 1987, Lélé 1991, Karbuz 2002, Teksöz 2014).

Sürdürülebilir kalkınmanın çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik olmak üzere üç bileşeni bulunmaktadır. Literatürde iç içe geçmiş çember modeli olarak ifade edilen bu üç boyut arasındaki ilişki Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği (Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN) 2005-2008 programında Şekil 2.1'deki gibi ifade edilmiştir (Adams 2006, Gökçe vd. 2018).



Şekil 2.1 Sürdürülebilir kalkınmanın iç içe geçmiş çember modeli (Adams 2006, Gökçe vd. 2018).

Bu boyutlardan sosyal sürdürülebilirlik sivil toplumun güçlülüğünü ve topluma katılımı, ekonomik sürdürülebilirlik ekonomik sermayenin dengesini, çevresel sürdürülebilirlik ise doğal kaynakların insanların ihtiyaçlarını karşılamak için korunmasını içermektedir (Karakurt Tosun 2009).

Çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik çemberlerinin kesişim bölgeleri pek çok disiplinin birlikte hareket etmesi gereken konuları ifade etmekte olup kesişim bölgelerinin kapsadığı alanlardan biri de sürdürülebilir yapım konusu ile inşaat sektörüdür (Günaydın 2011). İnşaat sektörü, sağladığı istihdamla yoksulluğun giderilmesine katkı sağlayarak ekonomik sürdürülebilirlik, yaşam alanlarının kalitesini artırmasıyla sosyal sürdürülebilirlik, yapıların çevreyle olan sürekli etkileşimi ile çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada etkili olmakta ve sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir parçası haline gelmektedir.

İnşaat sektörü tek başına diğer ekonomik faaliyetlerden daha fazla hammadde tüketmektedir (Pacheco-Torgal ve Labrincha 2013). Yapılar, sera gazı salınımı, çevre tahribatı, hava kirliliği, enerji kullanımı, doğal kaynak kullanımı, katı atık oluşumu gibi olumsuz çevresel etkilere de neden olmaktadır (Ortiz vd. 2009, Gibbs ve O'Neill 2015, Chan vd. 2018). Yapılardan kaynaklanan çevre sorunlarının ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi sürdürülebilir yapımın sağlanması ile mümkündür.

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD) sürdürülebilir yapımın beş amacı karşılaması gerektiğini ifade etmektedir. Bunlar; i) kaynak verimliliği, ii) sera gazı emisyonlarının azalması da dahil olmak üzere enerji verimliliği, iii) iç mekan hava kalitesi ve gürültü azaltma dahil olmak üzere kirlilik önleme, iv) çevre ile uyum, v) bütünsel ve sistematik yaklaşımlar şeklinde sıralanmaktadır (OECD 2003).

Bu ilkelere uygun olarak tasarlanan ve inşa edilen yapılar doğaya uyumlu, çevre dostu, sürdürülebilir, yeşil, ekolojik, akıllı, enerji etkin gibi isimlendirilmektedir. Literatürde bu kavramların birbirinin tam karşılığı olup olmadığı yönünde tartışmalar mevcuttur. Ancak bu çalışmada bu ifadeler aynı anlama gelecek şekilde dikkate alınmıştır.

2.1.1 Sürdürülebilir Yapıma İlişkin Düzenlemeler

Ülkeler, sürdürülebilir yapım ortak hedefi doğrultusunda hareket ederken sosyal, ekonomik, kültürel ve siyasal yapılarındaki farklılıklardan dolayı iki kritik durum ortaya çıkmaktadır:

i) İnşaat sektörü faaliyetleri kapsamında doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı hem çevresel hem de ekonomik açıdan gereklidir. Ayrıca enerji etkin tasarım ve mevcut teknolojinin sektöre entegrasyonu için standartların ve diğer düzenlemelerin benimsenmesi gerekmektedir (UN 1992).

ii) Dünya üzerindeki ülkeler farklı gelişmişlik düzeylerine sahiptir. Bu durum, ülkelerin önceliklerinin birbirlerine göre değişiklik göstermesine neden olmaktadır. Buna bağlı olarak da sürdürülebilir yapım algısı ülkeden ülkeye farklılık gösterebilmektedir (Sjostrom ve Bakens 1999).

Sürdürülebilir yapım ortak hedefi doğrultusunda hareket eden dünya ülkeleri, hem kendi yasal alt yapıları çerçevesinde düzenlemeler yapmakta hem de standartlaşma sürecine dahil olmaktadır.

2.1.1.1 Standartlar

Sürdürülebilir yapıma ilişkin uluslararası geçerliliği olan standart çalışmaları, Uluslararası Standart Organizasyonu (International Organization for Standardization, ISO), Amerikan Test ve Malzeme Birliği (American Society for Testing and Materials, ASTM), Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE) tarafından gerçekleştirilmektedir.

Avrupa ülkelerinin ulusal standartlarının uyumlulaştırılması, Avrupa Standardizasyon Komitesi (European Committee for Standardization, CEN), Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (European Committee for Electrotechnical Standardization,

CENELEC), Avrupa Telekomünikasyon Standartlar Komitesi (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) kuruluşları tarafından yapılmaktadır.

Türkiye’de Türk Standartları Enstitüsü (TSE), her türlü standardın hazırlanmasından sorumlu olan kuruluştur (Gökçe vd. 2017). TSE’nin, hem ISO’ya hem de CEN’e tam üyeliği bulunmaktadır.

Sürdürülebilir yapımı ilgilendiren ISO standartlarının bir kısmının ve TSE karşılığı bulunmaktadır. ISO ve EN (Euronorm) standartlarının Türk Standardı olarak adapte edilmesi için TSE tarafından sürekli olarak çalışmalar yürütülmektedir (Gökçe vd. 2017, Gökçe vd. 2018).

2.1.1.2 Mevzuat

Dünya üzerindeki farklı ülkeler her ne kadar ortak hedef doğrultusunda hareket etse de kültürel, siyasal, ekonomik yapılarının birbirinden farklı olmasından dolayı yasal düzenlemeler açısından izlenen süreç, standartlaşma sürecine göre farklılık göstermektedir. Ülkemizde sürdürülebilir yapımın sağlanmasında etkili olan kanun ve yönetmelikler aşağıda liste olarak verilmiştir:

- Çevre Kanunu
- Maden Kanunu
- Enerji Verimliliği Kanunu
- Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği
- Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
- Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği
- Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik
- Enerji ile İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik
- Yapı Malzemeleri Yönetmeliği
- Binalar İle Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği
- Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Yönetmelik

- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Yönetimi Yönetmeliği

2.1.1.3 Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı

AB Yeşil Mutabakatı (European Green Deal), küresel çevre sorunlarına karşı AB için oluşturulan politikalardır. 2019 yılı Kasım ayında tanıtılan mutabakat ile çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenmektedir. 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının 1990 yılı seviyesine çekilmesi, 2050 yılına kadar karbon nötr olması hedeflenmektedir. Kademeli olarak yürürlüğe girmesi planlanan AB Yeşil Mutabakatı çerçevesinde vergi düzenlemeleri ve sınırda karbon düzenlemeleri ile enerji kullanımı yüksek olan sektörlerde karbon emisyonlarının azaltılması amaçlanmaktadır. AB Yeşil Mutabakatı kapsamında geliştirilen hedefler ve stratejiler aşağıdaki gibidir (İnt. Kyn. 1):

- Biyoçeşitliliğin ve ekosistemin korunması
- Gıda sürdürülebilirliği
- Sürdürülebilir tarım hedefi doğrultusunda ortak tarım politikalarının yürütülmesi
- Temiz enerji
- Sürdürülebilir endüstri
- Daha temiz bir inşaat sektörü için yapı ve renovasyon
- Ulaşımda sürdürülebilir hareketlilik

Yukarıdaki hedeflerden yola çıkılarak belirlenen stratejiler şunlardır:

- Avrupa Endüstriyel Stratejisi
- Adil Dönüşüm Mekanizması
- Döngüsel Ekonomi Eylem Planı
- Avrupa Yeşil Mutabakatı Yatırım Planı
- Avrupa İklim Yasası

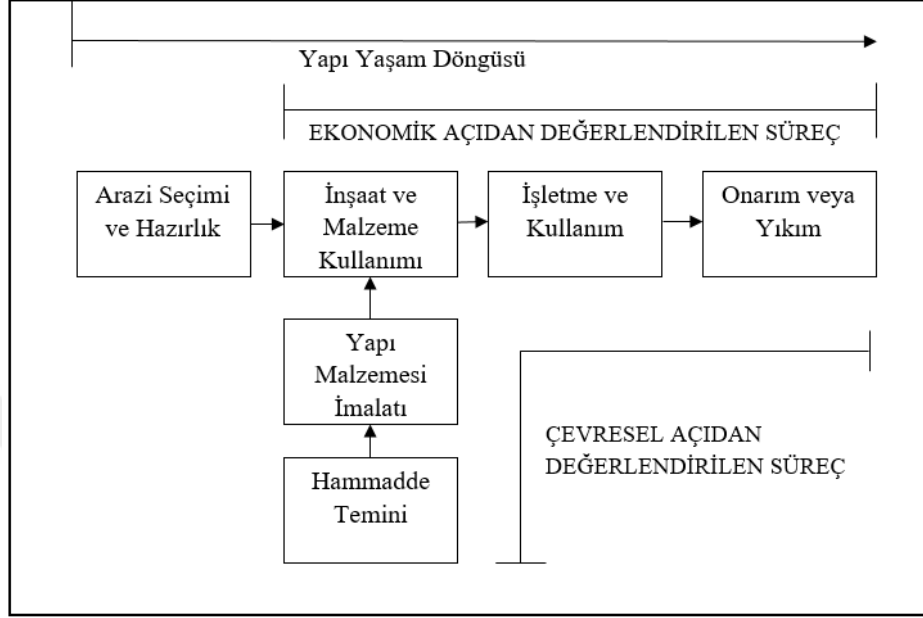
Bütün bu düzenlemeler AB için gerçekleştirilmiş olsa da AB ile ithalat ve ihracat faaliyetleri yürüten ülkeleri de yakından ilgilendirmektedir (Leonard vd. 2021, Keleş 2021). Karbon salınımı yüksek olan sektör ve alt sektörler arasında demir-çelik, alüminyum, çimento, maden kömürü, kimyasal maddeler, tekstil, cam ve cam ürünleri, seramik eşya, sentetik kauçuk, kâğıt hamuru, çeşitli tarım ürünleri yer almaktadır (Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği 2021). Bu sektörler için 2023 yılı Ekim ayı itibarıyla Sınırdaki Karbon Düzenlemesi yürürlüğe girecektir. Üç yıllık geçiş süresi sonunda tam uygulamaya geçilmesi planlanmaktadır. Sınırdaki Karbon Düzenlemesi kapsamında AB'ye ithal edilen ürünlerin sera gazı emisyonlarının envanter bilgileri sunulması zorunluluğu getirilecek olup ürünler sera gazı emisyonları üzerinden vergilendirilecektir. Bu sektörlerde AB ile ihracat ilişkisi bulunan ülkelere bir de Türkiye'dir.

Çimento, yapı kimyasalları, demir-çelikten inşaat malzemeleri, alüminyumdan inşaat malzemeleri, cam ve cam ürünleri ile seramik gibi yapı malzemelerinin ihracatının gerçekleştirilebilmesi için sürdürülebilirlik koşullarının sağlanması zorunluluğu ortaya çıkacaktır (Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği 2021). AB Yeşil Mutabakatı eylem planları kapsamında orta ve uzun vadede Türkiye'de de inşaat malzemeleri sanayisi için yüzde yüz geri kazanımın sağlanması için bir yapı oluşturulması hedeflenecektir (Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği 2021).

2.2 Yapıların Sürdürülebilirliği

Sürdürülebilir kalkınmanın inşaat sektörüne yansımalarından biri olan sürdürülebilir binalar, yapılaşmadan kaynaklanan CO₂ salınımının azaltılması, inşaat aşamasında çevreye verilen zararın azaltılması, işletme masraflarının düşük olması, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmesi, atıkların geri dönüşümünü teşvik etmesi, doğal ışıktan yararlanılması, yeşil çatı uygulamaları ile yağmur sularının kullanımı, enerji tasarrufu sağlamaları, ısıtma ve soğutma maliyetlerini azaltmaları, yapının değerini artırmaları, yapı kullanıcılarına daha sağlıklı bir ortam sunmaları gibi pek çok avantaj sağlamaktadır (Özmehmet 2005, Bauer vd. 2009, Şimşek 2012).

Bir binanın yaşam döngüsü süreci Şekil 2.2’de görülmektedir (Lippiatt 1999). Yapıların sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde genellikle 50 yıllık süre esas alınmaktadır.



Şekil 2.2 Bir binanın basitleştirilmiş yaşam döngüsü süreci (Lippiatt 1999).

Sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde her ne kadar sosyal, ekonomik ve çevresel performansların bir arada değerlendirilmesi gerekse de bir binanın çevresel performansı sürdürülebilirliğinin bir niteliği olarak dikkate alınmaktadır (EN 15978 2011).

Bina ölçeğindeki yapıların yaşam döngüsü bilgileri büyük ölçüde yapı bileşenlerinin ve yapı malzemelerinin YDD'sinden gelen verilere bağlıdır (Anand ve Amor 2017). Bu kapsamda yapıların sürdürülebilirliğinin ölçülmesinde kullanılan YDD tabanlı araçlar, i) yeşil bina derecelendirme sistemleri, ii) yapı malzemesi değerlendirme araçları/veri tabanları, iii) çevresel ürün beyanları (Environmental Product Declarations- EPD) şeklinde sıralanabilir.

2.2.1 Yeşil Bina Derecelendirme Sistemleri

Yeşil bina derecelendirme sistemleri, bina ölçeğindeki projelerin belirli kriterler kapsamında değerlendirilerek puanlanmasına, kazanılan puana göre

sertifikalandırılmasına imkan veren sistemlerdir. Binaların çevresel etkilerini ve doğal kaynakları korumadaki duyarlılıklarını ortaya koyan referanslardır (İnt. Kyn. 2).

Yeşil binalarda geleneksel binalara kıyasla %25-40 oranında enerji tasarrufu, %30-35 oranında sera gazı emisyonlarında azalma, %30-35 oranında su tasarrufu, %50-70 oranında atık üretiminde azalma sağlanmaktadır (Peck 2011, İnt. Kyn. 3). Ayrıca yeşil binalar geleneksel binalara nispeten işletme maliyetini bir yılda %10,5 oranında, beş yılda %16,9 oranında azaltmaktadır (Laquidara-Carr 2021).

İngiliz Bina Araştırma Kurumu, Building Research Establishment (BRE) tarafından 1990 yılında oluşturulan BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology, Bina Araştırmaları Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Metodu) sistemi, uygulanmaya koyulan ilk yeşil bina derecelendirme sistemidir. Geliştirilmesinden günümüze kadar güncelleme çalışmalarıyla kapsamı devamlı olarak genişletilmiştir. BREEAM derecelendirme sistemi bir binayı,

- Bina Yönetimi
- Sağlık ve İyi Hal
- Enerji
- Su
- Arazi Kullanımı ve Ekoloji
- Ulaşım
- Malzeme
- Atıklar
- Kirlilik
- İnovasyon

olmak üzere on farklı kategoride değerlendirmektedir (İnt. Kyn. 4). Kategoriler uygulandığı ülkeye göre ağırlıklandırılmaktadır. Ağırlıklandırma işlemi yüzde olarak yapılmakta ve bu kategorilerdeki değerlendirme ve puanlama sonucunda BREEAM Pass (geçer), BREEAM Good (iyi), BREEAM Very Good (çok iyi), BREEAM Excellent (mükemmel), BREEAM Outstanding (sıra dışı) sertifikaları verilmektedir. Geliştirilen ilk sertifika sistemi olan BREEAM sertifikası ülkemizde de tercih edilen sertifika sistemi

olması açısından önemlidir. 2022 yılı Kasım ayı itibarıyla Türkiye’de 56 adet geçerli BREEAM sertifikasına sahip yapı bulunmaktadır (İnt. Kyn. 4). Bu yapılardan biri de Afyonkarahisar Ticaret ve Sanayi Odası’dır. Bina %85 skor ile BREEAM Outstanding sertifikasına sahiptir. BREEAM derecelendirme sisteminin ülkemizde tercih edilmesinin bir nedeni de coğrafi koşullar dikkate alındığında, Avrupa’nın Türkiye ile daha çok benzerlik göstereceğinin düşünülmesidir. Ancak buna karşılık BREEAM, ülkemizde en çok tercih edilen derecelendirme sistemi değildir.

Dünyada ikinci olarak Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Yeşil Bina Konseyi (US Green Building Council, USGBC) tarafından geliştirilmiş olan LEED derecelendirme sistemi uygulanmaya başlanmıştır. 1998 yılından itibaren günümüze kadar güncellenerek farklı versiyonları uygulanmıştır. Günümüzde güncel olarak LEED v4.1 Beta versiyonu uygulanmaktadır. Farklı yapı türleri için uygulanabilen LEED, uygulanacak olan yapının türüne göre şartları farklılık göstermektedir. Farklı projeler için LEED sertifika türleri, LEED BD+C (Building Design +Construction), LEED ID+C (Interior Design + Construction), LEED O+M (Operations + Maintenance), LEED Konutlar (Residential), LEED Şehirler ve Topluluklar (Cities and Communities), LEED Yeniden Sertifikalandırma (Recertification) şeklindedir.

LEED derecelendirme sisteminin kredileri şu şekildedir:

- Bütünleştirici Süreç
- Konum ve Ulaşım
- Sürdürülebilir Araziler
- Su Verimliliği
- Enerji ve Atmosfer
- Malzeme ve Kaynaklar
- İç Mekan Kalitesi
- İnovasyon
- Bölgesel Öncelik

LEED sertifika sisteminde değerlendirmeler 110 puan üzerinden yapılmaktadır. Bir

projenin sertifika alabilmesi için en az 40 puana sahip olması gerekmektedir. Yalın (40-49 puan), Gümüş (50-59) puan, Altın (60-79 puan), Platin (80+ puan) olmak üzere dört farklı sertifika derecesi bulunmaktadır. LEED yeşil bina sertifikası hem dünyada hem de ülkemizde en çok tercih edilen sertifika sistemidir. Türkiye’de 2022 yılı Kasım ayı itibarıyla 1115 adet LEED sertifikalı yapı bulunmaktadır (İnt. Kyn. 5).

Türkiye’de yeşil bina derecelendirme sistemi çalışmaları Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK) öncülüğünde gerçekleştirilmektedir. Türkiye koşullarına uygun olarak oluşturulan B.E.S.T (.Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım) Sertifika Sistemi bu isimle 2019 yılından itibaren uygulanmaya başlanmıştır. Aslında B.E.S.T’in ilk versiyonu olarak adlandırılabilir ÇEDBİK konut sertifikası ilk olarak 2015 yılında yayınlanmış olmasına rağmen B.E.S.T kadar ilgi görmemiştir. B.E.S.T’in oluşturulmasında Türkiye’nin coğrafi konumu, iklim şartları ve mevzuatı dikkate alınmıştır. B.E.S.T Konut Sertifikası ve B.E.S.T Ticari Binalar Sertifikası olmak üzere iki kategorisi bulunmaktadır. B.E.S.T sertifika sistemi bir yapıyı,

- Bütünleşik Yeşil Proje Yönetimi
- Arazi Kullanımı
- Su Kullanımı
- Enerji Kullanımı
- Sağlık ve Konfor
- Malzeme ve Kaynak Kullanımı
- Konutta Yaşam (konut değerlendirmeleri için)/ Ticari Binalarda Yaşam (ticari bina değerlendirmeleri için)
- İşletme ve Bakım
- Yenilikçilik

olmak üzere dokuz ana kategoride değerlendirmektedir. Her bir ana kategorinin kendi içinde alt kategorileri bulunmaktadır. Değerlendirmeler 110 puan üzerinden yapılmaktadır. Değerlendirilen projeler, Onaylı (46-64 puan), İyi (65-79 puan), Çok İyi (80-99 puan), Mükemmel (100-110 puan) olmak üzere 4 farklı sertifika derecesinden biri ile sertifikalandırılmaktadır (İnt. Kyn. 2). Türkiye’de 2022 yılı Mart ayı itibarıyla 23 adet

B.E.S.T sertifikalı proje bulunmaktadır.

Türkiye’de ayrıca Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın altyapısını hazırlamakta olduğu Ulusal Yeşil Sertifika Sistemi (YeS-TR) ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir. Binalar ile Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği (2017) kapsamında sertifika sisteminin yapısı oluşturulmuştur. 2022 yılı Kasım ayı itibarıyla henüz YeS-TR aracılığıyla sertifikalandırılmış yapı bulunmamaktadır.

2.2.2 Yaşam Döngüsü Değerlendirme Araçları

Yapıların yaşam döngüsü içerisindeki çevresel etkilerinin tahmin edilmesinde kullanılmakta olan pek çok YDD aracı mevcuttur. Etki değerlendirmesi yapan bazı YDD araçlarına ait bilgiler Çizelge 2.1’de verilmiştir (Anand ve Amor 2017). Genel düzeydeki araçlar yapı malzemeleriyle birlikte pek çok ürünün YDD’sinde kullanılabilir. Özel düzeydeki araçlar ise sadece yapı malzemelerinin YDD’sinde kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1 YDD araçları ve göstergeleri.

Düzye	Araç	İçerdiği Göstergeler
Genel	GaBi	Çevresel etkiler, ekonomik, sera gazları
Genel	SimaPro	Çevresel etkiler, ekonomik, sera gazları
Genel	Umberto NXT LCA software	Çevresel etkiler, ekonomik, sera gazları
Genel	OpenLCA	Çevresel etkiler, ekonomik
Genel	TEAM 5.2	Çevresel etkiler, ekonomik
Genel	EIO-LCA (Economic Input-Output Life Cycle Assessment)	Çevresel etkiler, ekonomik, sera gazları
Genel	Boustead Model	Ekonomik, sera gazları
Özel	Athena (Impact Estimator for Buildings)	Çevresel etkiler, sera gazlar
Özel	LEGEP-Life Cycle Assessment	Çevresel etkiler, ekonomik
Özel	Envest 2	Çevresel etkiler, ekonomik
Özel	ECOSOFT	Çevresel etkiler
Özel	BeCost	Çevresel etkiler, ekonomik
Özel	BEES	Çevresel etkiler, ekonomik, sera gazları
Özel	EQUER	Çevresel etkiler, sera gazları
Özel	EcoEffect	Çevresel etkiler, sera gazları
Özel	ECO-BAT 4.0	Çevresel etkiler

Çizelge 2.1’de verilen araçlar, YDD’yi ISO 14040 (2006) standardına uygun şekilde gerçekleştirmektedir. Aralarındaki farklılıklar sistem sınırlarına, içerdikleri çevresel etki kategorilerine, etki değerlendirmesi yaklaşımına (karakterizasyon modeli), kategori göstergelerine, emisyon faktörlerine göre, YDD’nin isteğe bağlı adımlarını uygulayıp uygulamadıklarına göre farklılık göstermektedir.

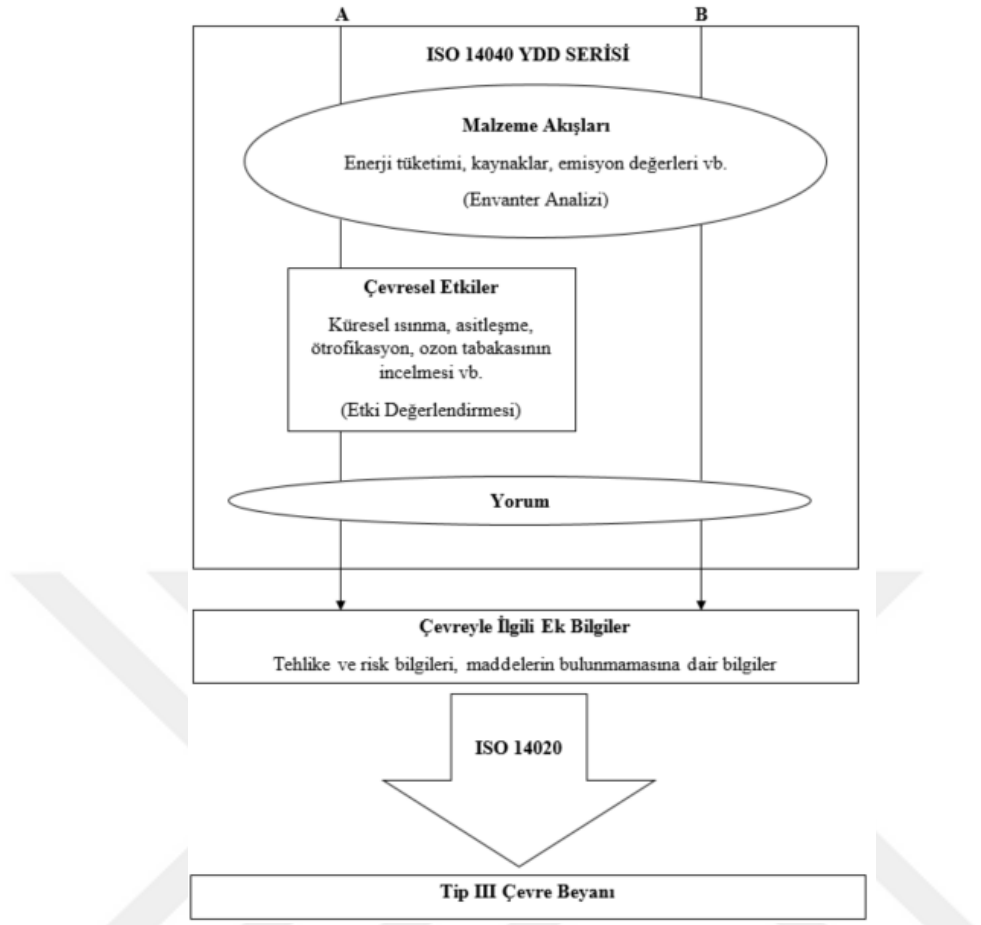
2.2.3 Çevresel Ürün Beyanları

Tip III çevre beyanları, bir ürünün yaşam döngüsü içerisindeki çevresel bilgilerini içeren belgelerdir. Eko-sayfa, eko-görünüm, ürünün çevre beyanı, çevresel ürün beyanı ve çevresel görünüm gibi farklı isimlerle bilinmektedir (ISO 14025 2006). ISO 14025’e (2006) göre Tip III çevre beyanı iki farklı metodun izlenmesi sonucu oluşturulmaktadır (Şekil 2.3).

Seçenek A: ISO 14040 (2006) kapsamında, amaç ve kapsamın tanımı, envanter analizi, etki değerlendirmesi ve yorum aşamalarını içeren YDD çalışmasıyla çevresel ürün beyanları oluşturulabilmektedir.

Seçenek B: ISO 14040 (2006) kapsamında, amaç ve kapsamın tanımı, envanter analizi ve yorum aşamalarını içeren YDD çalışmasıyla çevresel ürün beyanları oluşturulabilmektedir.

Yapı malzemeleri açısından çevresel ürün beyanı EPD belgesini ifade etmektedir. Yapı malzemelerinin EPD belgeleri EN 15804+A2 standardı kapsamında düzenlenmektedir. EPD belgeleri yapı malzemesinin çevresel bilgilerinin sayısal olarak ifade edildiği belgelerdir. Yapı malzemelerinin EPD belgelerinin karşılaştırılması doğru bir yaklaşım olmamakla beraber, EPD belgelerinin karşılaştırması yapı malzemelerinin yapıdaki uygulamaları kapsamında yapılabilir (EN 15804:2012+A2 2019). Bir EPD belgesinin düzenlenmesi zorunlu ve isteğe bağlı unsurları içermektedir. EN 15804+A2 kapsamında kullanılabilecek EPD tipleri EK 1’de verilmiştir.



Şekil 2.3 Tip III çevresel ürün beyanı uygulama metotları (ISO 14025 2006).

Yakın gelecekte yapıların çevresel performans değerlendirmelerinin yapılması için EPD’ler zorunlu hale gelmesi beklenmektedir (Passer vd. 2015). EPD belgesine sahip yapı malzemeleri LEED, BREEAM gibi yeşil bina sertifika sistemlerinde ek puan getirmektedir. Ayrıca AB Yeşil Mutabakatı kapsamında sürdürülebilirlik koşullarını sağlayan yapı malzemelerinin ihracatının gerçekleştirilmesinde EPD belgeli ürünlerin öneminin artacağı düşünülmektedir.

2.3 Yapı Malzemelerinin Sürdürülebilirliği

Yeşil malzemeler, çevresel açıdan sürdürülebilir bir inşaat projesinin öne çıkan unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir (Sandanayake vd. 2020). Yeşil yapı malzemeleri, gömülü enerjileri düşük, enerji tüketimi az, CO₂ emisyonu düşük, iç mekan havasını kirletmeyen, geri dönüşüm potansiyeli bulunan, insanlar ve çevre üzerinde hiçbir

olumsuz etkiye sahip olmayan veya olumsuz etkileri minimum düzeyde olan yapı malzemeleridir (Khoshnava vd. 2018, Duru ve Koç 2018, Tufan ve Özel 2018).

Yapılarda yeşil malzeme kullanılmasıyla sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutuna katkı şu şekilde sağlanmış olur (Khoshnava vd. 2018):

Çevresel boyut: Ekosistem korunur, hava ve su kalitesi iyileşir, havaya ve toprağa salınan atıklar azalır, doğal ve yenilenebilir kaynaklar korunur.

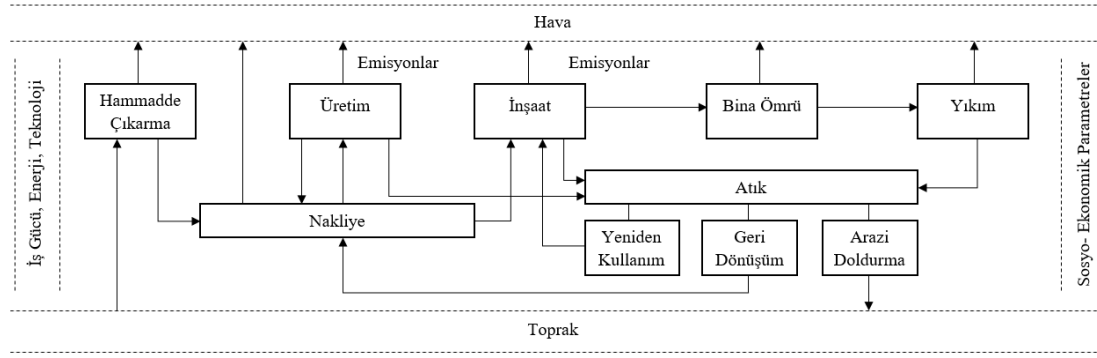
Ekonomik boyut: İşletme maliyeti azalır, yeşil malzemeler için bir pazar oluşur, kullanıcı verimliliğini artırır, yaşam döngüsü ekonomik performansını iyileştirir.

Sosyal boyut: Bina sakinlerinin konforunu ve sağlığını iyileştirir, estetik niteliklerini artırır, yerel alt yapı üzerindeki yükü en aza indirir, genel yaşam kalitesini iyileştirir.

2.4 Yapı Malzemelerinin Yaşam Döngüleri İçindeki Çevresel Etkileri

İnşaat faaliyetleri ve binalar küresel ölçekte doğal kaynak kullanımının %50'sinden, enerji tüketiminin %30'undan, su tüketiminin %12'sinden, CO₂ emisyonlarının %40'ından, katı atık oluşumunun %25'inden sorumludur (ÇEDBİK 2020). Pek çok ülkede yapı malzemelerinin kullanımı diğer malzemelere oranla çok daha fazladır (UNEP 2003). Avrupa'da kullanılan toplam malzemenin %30-50'si binalar için kullanılmaktadır (European Environment Agency 2010). Toplam agregaların (kum, çakıl ve kırma taş) yaklaşık %65'i ve toplam metallerin yaklaşık %20'si inşaat sektörü tarafından kullanılmaktadır (Herczeg vd. 2014). Ayrıca Avrupa'da üretilen yapı malzemelerinin dünyadaki zehirlilik potansiyeli olan emisyonların yaklaşık %1,4- 2,05'inden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir. Bu emisyonların açığa çıkmasında en çok etkiye alüminyum, çelik, bakır ve beton gibi yapı malzemeleri sahip olmaktadır (Herczeg vd. 2014).

Genel olarak bir yapı malzemesinin yaşam döngüsü süreci Şekil 2.4'teki gibi ifade edilebilir (Bakhroum ve Brown 2012).



Şekil 2.4 Malzemelerin yaşam döngüsü süreci (Bakhoum ve Brown 2012).

YDD yapılan ürün veya malzemeler için dikkate alınan çevresel etki kategorileri için ISO 14044'te (2006) herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır. Ancak seçilen çevresel etki kategorilerinin uluslararası ölçekte kabul görmüş olması gerekmektedir. EN 15804+A2'de (2019) yapı malzemeleri için tanımlanan çevresel etki kategorileri, kategori göstergeleri ve etki değerlendirme yaklaşımları Çizelge 2.2'de görülmektedir.

Çizelge 2.2 EN 15804+A2 ana çevresel etki kategorileri (EN 15804+A2 2019).

Çevresel Etki Kategorisi	Kategori göstergesi	Referans madde	Etki değerlendirmesi yaklaşımı
İklim değişikliği (toplam)	Küresel ısınma potansiyeli (toplam)	kg CO ₂ eşdeğeri	IPCC 2013'ü esas alan 100 yıllık IPCC referans hattı modeli
İklim değişikliği (fosil)	Küresel ısınma potansiyeli fosil yakıtlar	kg CO ₂ eşdeğeri	IPCC 2013'ü esas alan 100 yıllık IPCC referans hattı modeli
İklim değişikliği (biyolojik kökenli)	Küresel ısınma potansiyeli biyolojik kökenli	kg CO ₂ eşdeğeri	IPCC 2013'ü esas alan 100 yıllık IPCC referans hattı modeli
İklim değişikliği (arazi kullanımı ve arazi kullanım değişikliği)	Küresel ısınma potansiyeli arazi kullanımı ve arazi kullanım değişikliği	kg CO ₂ eşdeğeri	IPCC 2013'ü esas alan 100 yıllık IPCC referans hattı modeli
Ozon tüketimi	Stratosferdeki ozon tabakasının tüketim potansiyeli	kg CFC 11 eşdeğeri	Kararlı durum ozon tüketim potansiyelleri, WMO 2014

Çizelge 2.2 (Devam) EN 15804+A2 ana çevresel etki kategorileri (EN 15804+A2 2019).

Çevresel Etki Kategorisi	Kategori göstergesi	Referans madde	Etki değerlendirme yaklaşımı
Asitleşme	Asitleşme potansiyeli	mol H ⁺ eşdeğeri	Yığılımlı aşım, Seppälä ve diğ. 2006, Posch ve diğ. 2008
Tatlı sulara ötrofikasyon	Ötrofikasyon potansiyeli, tatlı suyun uç kısımlarına ulaşan besin maddeleri oranı	kg PO ₄ eşdeğeri	ReCiPe'de uygulanmış EUTREND modeli, Struijs ve diğ. 2009b
Tuzlu sulara ötrofikasyon	Ötrofikasyon potansiyeli, tuzlu suyun uç kısımlarına ulaşan besin maddeleri oranı	kg N eşdeğeri	ReCiPe'de uygulanmış EUTREND modeli, Struijs ve diğ. 2009b
Karasal ötrofikasyon	Ötrofikasyon potansiyeli	mol N eşdeğeri	Yığılımlı aşım, Seppälä ve diğ. 2006, Posch ve diğ. 2008
Fotokimyasal ozon oluşumu	Troposferik ozonun oluşma potansiyeli	kg NMVOC (Non Methane Volatile Organic Compounds) eşdeğeri	ReCiPe'de uygulanmış LOTOS-EUROS modeli, Van Zelm ve diğ. 2008
Abiyotik kaynakların tüketimi - mineraller ve metaller	Fosil yakıt dışındaki kaynakların abiyotik tüketim potansiyeli	kg Sb eşdeğeri	CML 2002, Guinée ve diğ. 2002 ve van Oers ve diğ. 2002
Abiyotik kaynakların tüketimi - fosil yakıtlar	Fosil kaynaklarının abiyotik tüketim potansiyeli	MJ, net kalorifik değer	CML 2002, Guinée ve diğ. 2002 ve van Oers ve diğ. 2002
Su kullanımı	Su yoksunluk potansiyeli, yoksunluk ortalama su tüketimi	m ³ eşdeğeri dünya yoksunluğu	Mevcut geriye kalan su (AWARE) Boulay ve diğ. 2016

Çizelge 2.2'deki çevresel etki kategorileri EN 15804+A2 (2019) kapsamındaki ana kategorilerdir. EN 15804+A2 (2019) standardı kapsamında ek olarak gösterilebilecek çevresel etki kategorileri de mevcuttur (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 EN 15804+A2 ek çevresel etki kategorileri (EN 15804+A2 2019).

Çevresel Etki Kategorisi	Kategori göstergesi	Referans madde
Çözünmeyen PM emisyonları	PM emisyonlarına bağlı hasarın potansiyel etki alanı (PM)	Hasar etki alanı
İyonlaştırıcı radyasyon, insan sağlığı	İnsanların Uranyum-235'e maruz kalma potansiyeli (IRP)	kBq U235 eşdeğeri
Tatlı sularda ekolojik zehirlilik	Ekosistemlerin ekolojik zehirliliğe maruz kalma potansiyeli (ETP-fw)	CTUe
İnsan zehirlenmesi, kansere yol açan etkiler	İnsan sağlığının zarar görme potansiyeli (HTP-c)	CTUh
İnsan zehirlenmesi, kansere yol açmayan etkiler	İnsan sağlığının zarar görme potansiyeli (HTP-nc)	CTUh
Arazi kullanımı ile ilgili etkiler/Zemin kalitesi	Zemin kalitesi potansiyel indeksi (SQP)	Birimsiz

Bu çalışma kapsamında yararlanılan BEES Online yazılımı, US EPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı) tarafından geliştirilen TRACI'nin (Tool for Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts- Kimyasalların ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılması ve Değerlendirilmesi Aracı) ilk versiyonunu kullanmaktadır. TRACI, YDD'nin etki değerlendirmesi aşamasına yardımcı olmak üzere geliştirilmiş bir araçtır (Ryberg vd. 2014). BEES'te tanımlanan çevresel etki kategorileri, kategori göstergeleri ve etki değerlendirmesi yaklaşımları Çizelge 2.4'te görülmektedir.

EN 15804+A2 (2019) standardı iklim değişikliği, arazi kullanımı, ozon tüketimi, asitleşme, ötrofikasyon, fotokimyasal ozon oluşumu, abiyotik kaynakların tüketimi, su kullanımı, çözünmeyen PM emisyonları, insan sağlığı, ekolojik zehirlilik olmak üzere on bir adet çevresel etki kategorisi içermektedir.

TRACI'deki çevresel etki kategorileri de küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon, fosil yakıt tüketimi, yaşam alanı değişikliği, hava kirliliği, insan sağlığı, fotokimyasal sis oluşumu, ozon tabakasının incilmesi ve ekolojik zehirlilik, su tüketimi olmak üzere on bir tanedir.

BEES'te TRACI'ye ek olarak, inşaat sektörüne özgü bir çevresel etki kategorisi olduğu için iç mekan hava kalitesi değerlendirmesi yapılmaktadır.

Çizelge 2.4 BEES çevresel etki kategorileri.

Çevresel Etki Kategorisi	Kategori göstergesi	Referans madde	Etki değerlendirme yaklaşımı
Küresel ısınma	Küresel ısınma potansiyeli (GWP)	g CO ₂ eşdeğeri	IPCC 100 yıllık modeli
Asitleşme	Asitleşme potansiyeli (AP)	H ⁺ (iyonu) eşdeğeri	Çevresel problemler Wenzel ve diğ. 1997
Ötrofikasyon	Ötrofikasyon potansiyeli (EP)	g N eşdeğeri	Çevresel problemler Bare ve diğ. 2003, Norris ve diğ. 2003
Fosil yakıt tüketimi	Fosil yakıt tüketimi potansiyeli (FP)	MJ enerji	Çevresel problemler Goedkoop ve Spriensma 1999
Yaşam alanı değişikliği	Tehdit ve tehlike altındaki türler (TED)	m ² arazi kullanımı	Çevresel problemler
Hava kirliliği	Hava kirliliği potansiyeli (CP)	mikroDALY	Çevresel problemler
İnsan sağlığı	İnsan sağlığının zarar görme potansiyeli (HP)	g C ₇ H ₈ eşdeğeri	Çevresel problemler USEtox-UNEP/SETAC ortak görüş modeli
Fotokimyasal oluşumu	Fotokimyasal oluşumu (SP)	g NO _x eşdeğeri	Çevresel problemler Carter 2007, Carer 2008
Ozon tabakasının incelmesi	Ozon tabakasının incelmesi potansiyeli (OP)	g CFC-11 eşdeğeri	Çevresel problemler Solomon ve Albritton 1992, WMO 1999
Ekolojik zehirlilik	Ekolojik zehirlilik potansiyeli (ETP)	g 2,4 D eşdeğeri	Çevresel problemler USEtox- UNEP/SETAC ortak görüş modeli
Su tüketimi	Su tüketimi	Litre	Envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımı Envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımı
İç mekan hava kalitesi	Uçucu organik bileşikler (Volatile Organic Compounds VOC)	g toplam uçucu organik bileşik	NIST (National Institute of Standards and Technology- ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü)

Bu çalışma kapsamında yapı malzemelerinin çevresel etkileri değerlendirilirken BEES'te tanımlanan on iki adet çevresel etki kategorisi değerlendirmeye alınmıştır. Bu etkiler aşağıda açıklanmaktadır.

Asitleşme Etkisi: Asitleşme temel olarak, atmosfere azot oksitlerin (NO_x) ve kükürt oksitlerin (SO_x) salınması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu maddeler doğrudan veya dolaylı olarak havanın, suyun ve toprağın asitleşmesine neden olmaktadır. Asitleşmenin başlıca kaynakları çeşitli endüstriyel faaliyetler, ısınma amacıyla konutlarda tüketilen yakıtlar, termik santrallerde enerji üretimi için kullanılan fosil yakıtlar, araçların egzoz gazları NO_x ve kükürtdioksit (SO_2) salımlarıdır (Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2018). Hidrojen klorür (HCl), amonyak (NH_3), sülfürik asit (H_2SO_4) gibi maddeler de asitleşmeye neden olmaktadır (Sür ve Sür 1988). Yağmurla birleşen bu maddeler asit yağmurları olarak yeryüzüne tekrar gelmektedir. Asit yağmurları, toprağın kimyasal ve biyolojik yapısını etkileyerek verimini düşürmekte, orman yapısını etkilemekte, binaların aşınmasına neden olmaktadır (İnt. Kyn. 6).

Yapı malzemeleri, yaşam döngüleri içinde özellikle üretimleri ve naklieleri aşamasında asitleştirici emisyonların açığa çıkmasına neden olmaktadır. Orta Avrupa'da asitleşmenin yapı malzemelerinden kaynaklanan en olumsuz çevresel etkilerden biri olduğu belirlenmiştir (Estokova vd. 2017). Örneğin beton üretim sürecinde asitleşme etkisi en çok iri ve ince agregalardan kaynaklanmaktadır (Kim ve Chae 2016).

Ekolojik Zehirlilik Etkisi: Sürdürülebilir yapının temel ilkelerinden biri de içeriğinde zehirlilik etkisi yaratabilecek maddeler barındıran yapı malzemelerinin kullanımından kaçınmaktır. Ancak mevcut binaların çoğu yasal düzenlemelere uygun yapılmış olsa bile toksik yapı malzemesi içerebilmektedir (Pacheco-Torgal ve Jalali 2011).

Pacheco-Torgal ve Jalali (2011) bu durumun ortaya çıkmasındaki temel nedenlerin mimarların veya inşaat mühendislerinin malzemelerin toksik özelliklerini bilmemesi ve ekonomik etkenler olduğunu ifade etmektedirler. Kurşunun zehirlilik etkisi uzun yıllardır bilinmesine rağmen, kurşun içeren tesisat sistemlerinin değiştirilmesi yüksek maliyetler gerektirmektedir. Örneğin Avrupa için bu değerin iki yüz milyon Euro olabileceği tahmin

edilmektedir. Yapı malzemesi olarak kullanılan polivinil klorürlerin (PVC) üretiminde dioksinler ve furanlar açığa çıkmaktadır. Plastik malzemelerin yumuşatılmasında kullanılan ftalatların zehirlilik etkisi olduğu literatürdeki pek çok çalışmada ifade edilmektedir. Özellikle poliüretan köpük gibi yalıtım malzemelerinin yanması durumunda yüksek miktarda zehirlilik etkisi bulunan emisyonlar açığa çıkmaktadır. Genel olarak yapı malzemeleri radyoaktif özellik göstermemektedir. Ancak betonda kullanılan bazı yüksek fırın cürufları ve bazı uçucu küller radyoaktif özelliğe sahip olabilmektedir (Pacheco-Torgal ve Jalali 2011).

Fosil Yakıt Tüketimi Etkisi: Fosil yakıt türleri kontrolsüz ve fazla kullanıldığında çevresel riskler oluşturmaktadır. Yapı malzemelerinin yaşam döngüleri içinde hammadde temini, üretim, nakliye gibi aşamalar yoğun enerji kullanımını gerektirmektedir. Bu enerji ihtiyacı çoğunlukla fosil yakıtlar aracılığıyla karşılanmaktadır. Yüksek miktarda enerji tüketimi, fosil yakıt tüketimini ve buna bağlı etkileri artırmaktadır.

Fotokimyasal Sis Oluşumu Etkisi: Fotokimyasal sis, insan faaliyetleri ve doğal olayların neden olduğu hava kirliliğinin bir kombinasyonunu ifade eden yapay bir sistir (Li 2019). Los Angeles tipi fotokimyasal sis, özellikle alt tropikal bölgelerde yaz aylarında meydana gelmektedir. Araba egzozlarından salınan emisyonların güneş ışığıyla fotokimyasal tepkimeye girmesi sonucunda karbon oksitler (CO_x), NO_x ve hidrokarbonlar açığa çıkarak zararlı kahverengi bir pus oluşturmaktadır (Stanaszek-Tomal 2021). Londra tipi fotokimyasal sis, ılıman iklim bölgelerinde Kasım-Ocak ayları arasında oluşan kükürt (S), azot (N), CO_x ve kurum içeren fotokimyasal sistir (Stanaszek-Tomal 2021). Kış aylarında bacalardan salınan kirlleticiler hava koşulları nedeniyle atmosferde yükselmemekte, yere daha yakın kalmakta ve fotokimyasal sis oluşumuna neden olmaktadır.

Araç motorlarında kullanılan yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan azot monoksit (NO), karbon monoksit (CO), CO_2 , ve VOC (boyalardan, çözücülerden ve yakıt buharlaşmasından) birincil kirlleticiler; trafik, sanayi ve ısınma sonucu açığa çıkan azot dioksit (NO_2) ve ozon (O_3) ikincil kirlleticiler olarak adlandırılmakta olup (Ashraf vd. 2019) fotokimyasal sis oluşumuna neden olan maddeler genel olarak ikincil

kirleticilerdir. Yapı malzemelerinin yaşam döngüleri içinde önemli ölçüde ikincil kirletici açığa çıkarak fotokimyasal sis oluşumuna neden olmaktadır.

Hava Kirliliği Etkisi: Kirli hava, hem insan sağlığına hem de diğer canlılara zararlı olan maddeleri içeren havadır. Başlıca hava kirleticileri, SO₂, NO_x, O₃, CO, VOC, partikül maddeler (PM), kurşun (Pb) gibi maddelerdir. PM, havada asılı katı ve sıvı parçacıkların karışımından oluşan, mikrometre ile ölçülen ve buna göre isimlendirilen, solunum yoluyla alınarak sağlık açısından büyük risk oluşturan, inşaat faaliyetlerinin önemli ölçüde katkıda bulunduğu kirleticilerdir. Hava kirliliğine neden olan maddelerin kaynakları ve etkileri Çizelge 2.5’te görülmektedir (Çevre Mühendisleri Odası 2021).

Çizelge 2.5 Hava kirliliğinin kaynakları ve etkileri (Çevre Mühendisleri Odası 2021).

Kirletici	Ana Kaynağı	Etkisi
Kükürt dioksit(SO ₂)	Fosil Yakıt Yanması, Taşıt Emisyonları	Solunum Yolu Hastalıkları, Asit Yağmurları
Azot oksitler(NO _x)	Taşıt Emisyonları, Yüksek Sıcaklıkta Yakma Prosesleri	Göz ve Solunum Yolu Hastalıkları, Asit Yağmurları
Partikül Madde (PM)	Sanayi, Taşıt Emisyonları, Fosil Yakıt Yanması, Tarım ve İkincil Kimyasal Reaksiyonlar	Kanser, Kalp Problemleri, Solunum Yolu Hastalıkları, Bebek Ölüm Oranlarında Artış
Karbon monoksit(CO)	Eksik Yanma Ürünü, Taşıt Emisyonları	Kandaki Hemeoglobin ile Birleşerek Oksijen Taşınma Kapasitesinde Azalma, Ölüm
Ozon (O ₃)	Trafikten Kaynaklanan Azot Oksitler ve Uçucu Organik Bileşiklerin (VOC) Güneş Işığıyla Değişimi	Solunum Sistemi Problemleri, Göz ve Burunda İritasyon, Astım, Vücut Direncinde Azalma

Dış ortam hava kirliliğine ısınma ve sanayide kullanılan fosil yakıtlar, sanayi faaliyetleri, motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtlar, çöp depolama alanları, kanalizasyon vb. neden olmaktadır. Çimento, madencilik ve demir-çelik sanayi üretim aşamalarında önemli ölçüde PM emisyonu açığa çıkmaktadır (İnt. Kyn. 7). Ayrıca yapı malzemesi olarak kullanılan kum, kireç, boya ve açığa çıkan inşaat atıkları da PM salınımına katkı sağlamaktadır.

Dünyada her yıl kullanılan bir milyar beş yüz milyon tuğlanın üretimi kirletici fırınlarda

gerçekleştirilmektedir (CACC 2019). Halen Asya ve Latin Amerika'nın bazı bölgelerinde yaygın olarak kullanılan geleneksel tuğla üretimi aşamasında kömür, odun ve biokütle yakılmasıyla pişirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Dünyadaki tuğla üretiminin %90'ı Orta Asya'da gerçekleştirilmekte olup bu malzemelerin küresel pazara taşınması aşamasında da kirleticiler açığa çıkmaktadır (İnt. Kyn. 8). Hem pişirme hem de nakliye işlemlerine bağlı olarak büyük oranda PM, siyah karbon, SO₂, CO₂ emisyonları açığa çıkmakta ve dış ortam hava kirliliğine neden olmaktadır.

İç Mekan Hava Kalitesi Etkisi: Solunan havada çok sayıda organik bileşik bulunmaktadır. İç ortamın havasına farklı kaynaklardan yayılan VOC'ler, 25°C'de 10 Pa'dan daha yüksek buhar basıncına, atmosfer basıncında 260°C'ye kadar kaynama noktasına, 15 veya daha az karbon atomuna sahip organik bileşikler olduğu kabul edilmektedir (Williams ve Koppmann 2007). Çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilen iç ortam uçucu organik bileşiklerinin en önemli kaynakları inşaat malzemeleri ve dekorasyon malzemeleridir (Alyüz ve Veli 2006). Üretimlerinde ve yapı içindeki uygulamaları aşamasında kullanılan kimyasal maddeler nedeniyle yapı malzemeleri birçok uçucu organik bileşik salınımına neden olabilmektedirler. Pek çok sağlık sorununa neden olabilen uçucu organik bileşiklerin neden olduğu hastalıklar kanser ve kanser dışı hastalıklar olarak gruplandırılmaktadır (Darçın ve Balanlı 2018).

Binaların yetersiz havalandırılması veya havalandırma sistemlerinin yetersiz olması CO₂ birikmesine, çeşitli alerjen ve küf oluşumunu tetikleyebilecek nem birikmesine neden olabilmektedir (İnt. Kyn. 8). Mobilyalarda ve bazı yapı malzemelerinde kullanılan yanma önleyici, leke tutma önleyici, akışkanlaştırıcı özellikteki maddeler çeşitli kimyasallar zamanla iç ortam havasına salınmaktadır (Allen vd. 2017). Leke tutmayı önleyici kimyasallar dayanıklılıkları nedeniyle mobilyalarda, halılarda, boyalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Poliflorlu alkil maddeler (PFAS'ler) veya poliflorlu kimyasallar (PFC'ler) olarak adlandırılan bu kimyasallar iç ortam havasında bulunabilmektedir. Asbest gibi zehirlilik özelliği bulunan maddelerin yapı malzemelerinde kullanılması iç mekan hava kirliliğinin nedenlerindendir. 2010 yılında kullanımı yasaklanan asbest, alçı sıvalarda, agregalarda, plastik ve yalıtım malzemelerinde, bağlayıcı katkı maddelerinde kullanıldığından, yasaklanmadan önceki yapılarda halen bulunabilmektedir (Zorlu ve

Tıkansak Karadayı 2020).

İnsan Sağlığı Etkisi: Doğuşta beklenen yaşam süresi bir toplumun ortalama yaşam süresini ifade eden istatistiki bir ölçüttür. Ülkelerin yaşam kalitesinin göstergelerinden biri olarak değerlendirilmekte olup ülkelerin sosyo-ekonomik durumuyla ilişkilendirilmektedir. Bir toplumun ortalama yaşam süresi sağlık hizmetlerinin kalitesinin ve gelişmişlik düzeyinin önemli bir göstergesidir. Bu nedenle gelişmiş ülkelerde ortalama yaşam süresi daha uzun olmaktadır (Çevresel Göstergeler 2020).

TÜİK verilerine göre Türkiye’de doğuşta beklenen yaşam süresi 2017-2019 döneminde 78,6 yıla yükselmiştir (TÜİK 2020a). Dünya bankası 2019 yılı verilerine göre Hong Kong (Çin) 85 yıl, Japonya ve İsviçre 84 yıl ortalama yaşam süresi ile ilk sıralarda yer alırken Türkiye bu sıralamada 56. sırada yer almaktadır (İnt. Kyn. 9). Beklenen yaşam süresinin artması toplumdaki bireylerin ülke ekonomisine katkısını artırmaktadır.

Ortalama yaşam süresi toplumdaki bireylerin sağlıklı olma durumuyla doğrudan ilişkilidir. İnsan sağlığını tehdit eden faktörlerden bazıları bazıları geçici etkilere sahipken bazıları ise kalıcı etkiler yaratmaktadır. Farklı bireylerin aynı maddeye karşı tolerans seviyeleri de değişkenlik göstermektedir. Yapı malzemelerinin yaşam döngüleri içerisinde insan sağlığı üzerinde oluşturduğu etkilere, burada açıklanan çevresel etkiler içerisinde değinilmektedir.

Küresel Isınma Etkisi: Güneşten gelen radyasyon dünya tarafından absorbe edilmektedir. Daha sonra bu enerji atmosfer ve okyanuslar tarafından yeniden dağıtılmaktadır. Atmosferde biriken sera gazlarının varlığında, atmosferden yansıyan enerji sera gazları tarafından tutulmaktadır. Uzaya gidemeyen ışınlar atmosferde tutularak dünyanın etrafını bir battaniye gibi sarmaktadır. Bu olay sera etkisi olarak bilinmektedir.

Sera etkisi doğal bir olaydır. Çevresel sorun, insanlar tarafından atmosfere salınan sera gazlarından kaynaklanmaktadır. Sera etkisine bağlı olarak dünya yüzeyindeki sıcaklığın artması küresel ısınma veya iklim değişikliği olarak adlandırılmaktadır. CO₂’nin yanı sıra metan (CH₄), O₃, su buharı (H₂O) sera etkisine neden olmaktadır. Küresel ısınma

potansiyeli değerlendirilirken sera gazlarının CO₂ eşdeğerine dönüştürülmesi esas alınmaktadır.

Ozon Tabakasının İncelmesi Etkisi: Dünyayı çevreleyen atmosfer tabakası troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer, iyonosfer, ekzosfer katmanlarından oluşmaktadır (İnt. Kyn. 10). Stratosfer katmanında bulunan ozon tabakası, hem yeryüzündeki temel ısı dengesine yardımcı olmakta hem de güneşten gelen zararlı ultraviyole (UV) ışınları emerek yeryüzüne ulaşmasına engel olmaktadır (İnt. Kyn. 11).

Atmosfere salınan çeşitli kirletici gazlar ozon tabakasının incelmesine neden olmaktadır. Kloroflorokarbonlar (CFC'ler) olarak adlandırılan bu kirletici gazlar soğutucu üretiminde, klimalarda, aerosol üretiminde, yangın söndürmede, köpük üretiminde (sert poliüretan köpükler, boru izolasyon malzemeleri, esnek köpük, yüzey kaplama köpüğü), yalıtım malzemelerinde, çözücü olarak ve tarımda kullanılmaktadır (Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Yönetmelik 2017).

Ozon tabakasının incelmesi insanlarda çeşitli deri hastalıkları, katarakt, bağışıklık sisteminin zayıflaması, solunum yolları hastalıkları, astım atakları, damar tıkanıklığı gibi etkiler yaratmaktadır (Çetin 2008, Temiz Hava Hakkı Platformu 2021). Bitkilerin büyümelerinde yavaşlamalara neden olmaktadır. UV ışınları deniz canlılarını ve hayvanları olumsuz etkilemektedir. O₃, lastik ve boya gibi endüstriyel malzemelere zarar vermekte, gümüş gibi malzemelerde oksitlenmelere neden olmakta, plastik malzemelerin çatlamasına, sararmasına neden olmaktadır (Çetin 2008).

Yapılarda iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan hidroflorokarbon (HFC) emisyonları nüfus artışı ve kentleşmeye bağlı olarak her yıl %8-15 oranında artmaktadır (CACC 2015).

Ötrofikasyon Etkisi: Ötrofikasyon, doğal su kaynaklarının hem doğal hem de yapay yollarla N ve fosfor (P) bakımından zenginleşmedir. Doğal ötrofikasyon, kayaların aşınması, göl tabanının toprak yapısı, orman yangınları, yağmur suları, bitki polenleri ve erozyon gibi doğal nedenlerden kaynaklanırken; yapay (kültürel) ötrofikasyon

endüstriyel atık sular, kanalizasyon atıkları, evsel atık sular, tarımsal arazilerden süzölen drenaj suları ve gübreleme ile su kaynağına P ve N girmesi gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır (Yiğit 2004).

NO_x ve NH₃ emisyonları ile açığı çıkan N, kara ve su ekosistemlerini etkileyerek ötrofikasyona neden olmaktadır. Ötrofikasyon ile kara ve su ortamlarında türlerin çeşitliliğini etkilemekte ve bazı istilacı türlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (European Environment Agency 2019).

Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü içerisinde üretim ve nakliye aşamasında %44, şantiye içerisinde taşınması ve inşaat uygulaması aşamasında %16, kullanım aşamasında %2, bakım ve onarım aşamasının %23, yıkımda %12, geri dönüşümda %3 oranlarında ötrofikasyonda etkili oldukları tahmin edilmektedir (Marzouk vd. 2017).

Örneğın, beton üretim sürecinde ötrofikasyona neden olan NO_x, NH₃, amonyum (NH₄⁺), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), nitrat (NO₃⁻) ve fosfat (PO₄³⁻) maddelerinin salındığı belirlenmiştir (Kim ve Chae 2016).

Su Tüketimi Etkisi: Binalarda su kullanımı, küresel ölçekteki toplam su tüketiminin %11'ini oluşturmaktadır (Mannan ve Al-Ghamdi 2022). İnşaat faaliyetleri doğrudan ve dolaylı olarak yüksek miktarda su kullanımı gerektirmektedir (Tıkansak Karadayı ve Coşgun 2021). Beton hazırlanması, agregaların yıkanması, betonun kürlenmesi doğrudan su kullanımını, yapı malzemelerinin üretimleri aşamasındaki gömölü su tüketimleri ise dolaylı su kullanımını gerektirmektedir.

Çelik, tuğla, çimento, alüminyum, cam ve halı kaplama gibi çok sayıda yapı malzemesinin üretim sürecinde önemli miktarda gömölü su kullanılmaktadır. Bu malzemelerin üretim sürecinde su, akışkanlaştırıcı madde, temizlik maddesi, bağlayıcı madde, ısı aktarım ortamı, çözücü, hava kirliliğı kontrol aracı ve üretilen malzemelere bağılı olarak başka amaçlar için kullanılmaktadır (Rahman vd. 2019). Örneğın, Avusturalya'da konut dışı inşaatlarda gerçekleştirdikleri bir dizi saha çalışması sonucunda brüt taban alanının m²'si başına 5 ila 20 m³ gömölü su kullanıldığı, gömölü su

tüketimine en çok neden olan yapı malzemelerinin sırasıyla çelik, beton ve halı kaplama olduğu belirlenmiştir (McCormack vd. 2007). Özellikle ticari binalarda yaklaşık olarak on yıllık periyotlarda halı kaplamaların değiştirilmesi bu malzemenin gömülü su tüketimini artırmaktadır (Hoekstra 2015).

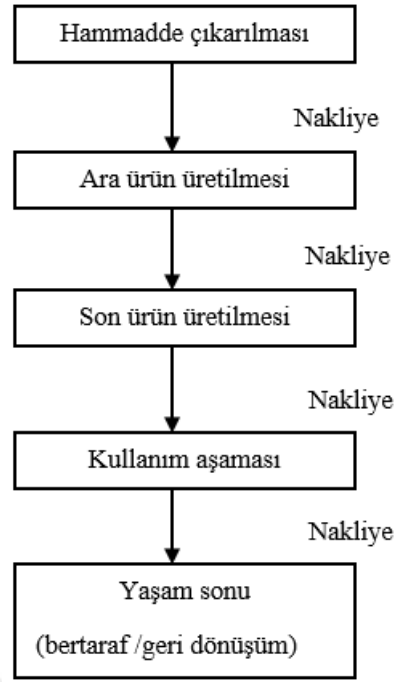
Yaşam Alanı Değişikliği Etkisi: Tarım, sanayi, kentleşme vb. faaliyetleri için arazilerin özelliklerine uygun kullanılmaması nedeniyle arazi kayıpları yaşanmaktadır (Çevresel Göstergeler 2020). Arazilerin yanlış kullanımı ekosistemlerde kaymalara neden olmaktadır. Yapı malzemelerinin yaşam döngüleri içerisinde hammadde çıkarılması aşamasında yapılan kazı işlemleri, üretim sürecinde tarım alanlarının kullanılması, kullanım evresindeki arazi işgali, atık depolanması ve bertaraf aşamalarındaki arazi işgali arazi dönüşümlerine veya kayıplarına neden olmaktadır.

Çimentonun hammaddelerinden olan kireçtaşının elde edilmesi, beton üretimi için agrega ve kum elde edilmesi aşamalarında kullanılan yöntemler nedeniyle bitkilerin ve hayvanların yaşam alanlarının yok olması, topoğrafyada değişiklik, yollarının kirlenmesi gibi etkiler ortaya çıkmaktadır (Willis 1998). Akarsu yataklarından agrega ve kum elde edilmesi durumunda ise akarsu yataklarının taban sınırlarında değişimler olmakta ve yaşam alanları olumsuz etkilenmektedir (Coşgun ve Esin 2007).

2.5 Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yaklaşımı

Yaşam döngüsü, ürünlerin veya hizmetlerin üretimlerinde kullanılacak olan hammaddenin temin edilmesinden başlayarak, üretim, nakliyat, kullanım ve kullanım sonrası atık olarak bertaraf edilmesi sürecini ifade etmektedir. YDD ise, ürünlerin veya hizmetlerin yaşam döngüleri içindeki muhtemel çevresel etkilerini belirlemek, raporlamak ve yönetmek için kullanılan bir yaklaşımdır (European Commission 1998, Demirer 2011, Guinée vd. 2011).

Şekil 2.5’te bir ürünün basitleştirilmiş yaşam döngüsü görülmektedir (Klöppfer ve Grahl 2014).



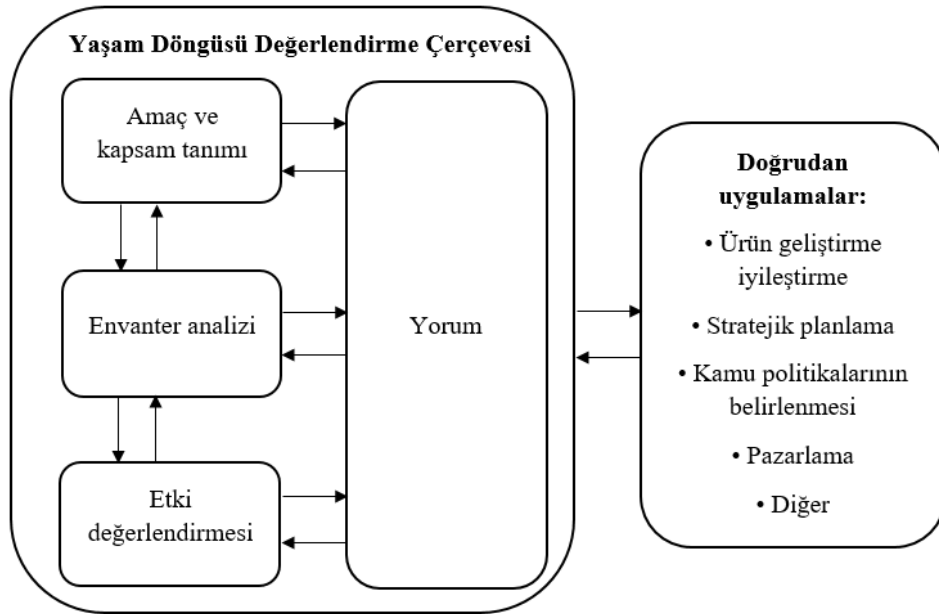
Şekil 2.5 Bir ürünün basitleştirilmiş yaşam döngüsü (Klöppfer ve Grahl 2014).

YDD, ilk olarak endüstriyel ürünlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Hunt ve Franklin 1996, Oberbacher vd. 1996). Zaman içerisinde pek çok sektör tarafından benimsenerek geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında yeşil satın alma, yeşil pazarlama, çevresel tasarım, ürün geliştirme, ürün etiketleme, ürün karşılaştırma, araştırma ve geliştirme, politika geliştirme, yasal yaptırımlar, maliyet azaltma, ISO standartları, atık yönetimi, optimizasyon, karar verme, geri dönüşüm, ambalajlama, ekolojik yapı, yapılarda yalıtım, karbon ayak izi azaltma, çevresel ürün beyanları, çevresel önlem alma (Jensen vd. 1997, Bishop 2000, Frankl ve Rubik 2000, Cooper ve Fava 2006, Jönbrink ve Melin 2008, Klöppfer ve Grahl 2014) gibi pek çok alanda YDD'nin kullanıldığı görülmektedir. YDD'nin sektörler tarafından benimsenmesindeki en önemli motivasyon kaynağı uzun vadede, enerji ve malzemede süreç verimliliği, maliyet azaltma fırsatları olmaktadır (Nygren ve Antikainen 2010). YDD süreç odaklı olarak benimsendiğinde hem ekolojik hem de ekonomik açıdan fayda sağlamaktadır. Bu bağlamda süreç odaklı YDD, çevresel kaygılardan bağımsız olarak sektörlerin amaçladıkları verimliliği elde etmelerinin bir yolu haline gelmektedir (Nygren ve Antikainen 2010).

Birçok endüstride olduğu gibi inşaat sektöründe de YDD süreci, yapı-çevre uyumunun sağlanabilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılardan kaynaklanan olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması, en aza indirilmesi ve sürdürülebilir yapının sağlanabilmesinde YDD, karar mekanizmasının etkili bir parçası olarak kullanılabilir.

YDD'nin çerçevesi ilk olarak Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC) tarafından oluşturulmuştur (Klopffer 2006, Jensen ve Postlethwaite 2008). SETAC'ın oluşturduğu YDD yapısı zaman içerisinde ISO tarafından geliştirilmiştir.

Günümüzde kabul görmüş YDD metodolojisi, ISO 14040 (2006) ve ISO 14044 (2006) uluslararası standartlarında tanımlanmaktadır. ISO 14040'ta (2006) tanımlanan YDD, i) amaç ve kapsamın tanımı, ii) envanter analizi, iii) etki değerlendirmesi, iv) yorum olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar arasındaki ilişki Şekil 2.6'da görülmektedir (ISO 14040 2006).



Şekil 2.6 Yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları (ISO 14040 2006).

YDD'nin her bir aşaması kendisinden sonraki aşama ile ilişki içerisinde ve ihtiyaç duyulduğunda önceki aşamaya geri dönmeyi gerektirebilen tekrarlı bir süreçtir. YDD ile

ürünlerin veya ürün sistemlerinin yaşam döngüleri içerisindeki çevresel etkileri değerlendirilmektedir. Sürdürülebilir kalkınmanın diğer boyutları olan sosyal ve ekonomik etkiler ISO 14040'ta tanımlanan YDD çerçevesinin kapsamı dışında kalmaktadır. YDD sonuçları farklı karar süreçleri için girdi olabilmektedir.

Bir YDD uygulamasından güvenilir sonuçlar elde edebilmek için Şekil 2.6'da görülen YDD çerçevesinin doğru oluşturulması gerekmektedir. Her bir YDD aşamasında dikkat edilmediğinde yanlış sonuçlara neden olabilecek durumlar Çizelge 2.6'da verilmiştir (Reap vd. 2008).

Çizelge 2.6 YDD'de aşamaya göre dikkat edilmesi gereken durumlar (Reap vd. 2008).

Aşama	Problem
Amaç ve kapsamın tanımı	Fonksiyonel birim tanımı*
	Sistem sınırlarının belirlenmesi*
	Sosyal ve ekonomik etkiler*
	Alternatif senaryolar*
Envanter analizi	Paylaştırma
	Durdurma kriterleri
	Yerel teknik uygulamalar
	Etki kategorisi ve metodolojisi seçimi
Etki değerlendirmesi	Bölgesel değişim
	Yerel çevresel uygulamalar
	Çevre dinamikleri
	Zaman tercihi
Yorum	Ağırlıklandırma*
	Karar sürecindeki belirsizlikler
Toplam	Veri kullanılabilirliği ve kalitesi

*Temel kararlar olarak düşünülebilecek bu problemler, çalışmanın sonuçları üzerinde önemli etkilere sahip oldukları için yanlış karar vermeye neden olabileceğinden, probleme neden olabilecek problemler olarak düşünülmelidir.

2.5.1 Kavramlar

YDD'de kullanılan ürün sistemi, fonksiyonel birim, sistem sınırı ve yaşam sonu yaklaşımı kavramları aşağıda açıklanmaktadır.

2.5.1.1 Ürün Sistemi

Şekil 2.5'te bir ürünün basitleştirilmiş yaşam döngüsü süreci görülmektedir. Ürünün yaşam döngüsü, hammadde temini ile başlamakta ve kullanım ömrünü tamamlamasıyla sona ermektedir. Şekil 2.5'te her bir kutu birim sürece karşılık gelmektedir. Bir birine bağlanan birim süreçler ürün sistemlerini oluşturmaktadır (Klopffer ve Grahl 2014).

2.5.1.2 Fonksiyonel Birim

Fonksiyonel birim, bir ürünün nicel olarak ifade edilmesidir. Karşılaştırılan ürünler benzer işlevlere sahip olmalıdır. YDD sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için bir referans oluşturmak gerekmektedir. Örneğin bir yapı malzemesinin işlevini yerine getirebilmesi için gerekli olan miktar m^2 , m^3 , lt, kg vb. ölçülebilir birimlerle tanımlanmalıdır (Al-Huthaifi ve Altan 2021). YDD'nin göreceli olması, fonksiyonel birime göre analizlerin yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle YDD uygulamalarında bir yöntem sınırlaması bulunmamaktadır. Fonksiyonel birime bağlı olarak farklı yöntemler kullanılarak elde edilen bilgiler birleştirilerek YDD uygulanmaktadır.

Örneğin bir odanın ısıtılması klima veya kömür sobasıyla gerçekleştirilebilir. Buradaki fonksiyonel birim, ısıtılmak istenen odanın büyüklüğü cinsinden ifade edilmelidir (örneğin m^3). Klima sistemi için referans akışı, odayı istenen sıcaklığa kadar ısıtmak için harcanan elektrik enerjisi miktarıdır (örneğin megajoule). Kömür sobası için referans akışı, odayı istenen sıcaklığa kadar ısıtmak için kullanılan kömür miktarıdır (örneğin kilogram). İki ısıtma şekli için de referans akışların girdilerinin ve çıktılarının envanterini toplamak mümkündür.

2.5.1.3 Sistem Sınırı

Sistem sınırı, sisteme dahil edilecek birim süreçleri tanımlamaktadır (ISO 14040 2006). YDD çalışmalarının karşılaştırılmalı yapısı gereği sistem sınırlarının net bir tanımı gerekmektedir (Häfliger vd. 2017). Sistem sınırlarının uygun seçilmemesi yanlış

modellemeye, sonuçların yanlış yorumlanmasına ve karşılaştırılmasına neden olabilir (Çizelge 2.6). Sistem sınırları belirlenirken çalışmanın hangi seviyeye kadar yürütüleceğinin (durdurma kriteri) belirtilmesi gerekmektedir (ISO 14044 2006). ISO 14044'te (2006) kütle, enerji ve çevresel önem olmak üzere üç durdurma kriteri bulunmaktadır.

Kütle durdurma kriteri olarak belirlenmişse, karar vermek için değerlendirilen ürün sisteminin kütle girdisine belirlenen bir orandan daha fazla katkı sağlayan bütün girdilerin çalışmaya dahil edilmesi gerekmektedir.

Enerji durdurma kriteri olarak belirlenmişse, karar vermek için değerlendirilen ürün sisteminin enerji girdisine belirlenen bir orandan daha fazla katkı sağlayan bütün girdilerin çalışmaya dahil edilmesi gerekmektedir.

Çevresel önem durdurma kriteri olarak belirlenmişse, ürün sistemine en fazla katkı sağlayan girdilerin dahil edilmesi gerekmektedir.

Başlangıçta tanımlanan sistem sınırları tekrarlı süreç içerisinde daha da geliştirilebilmektedir.

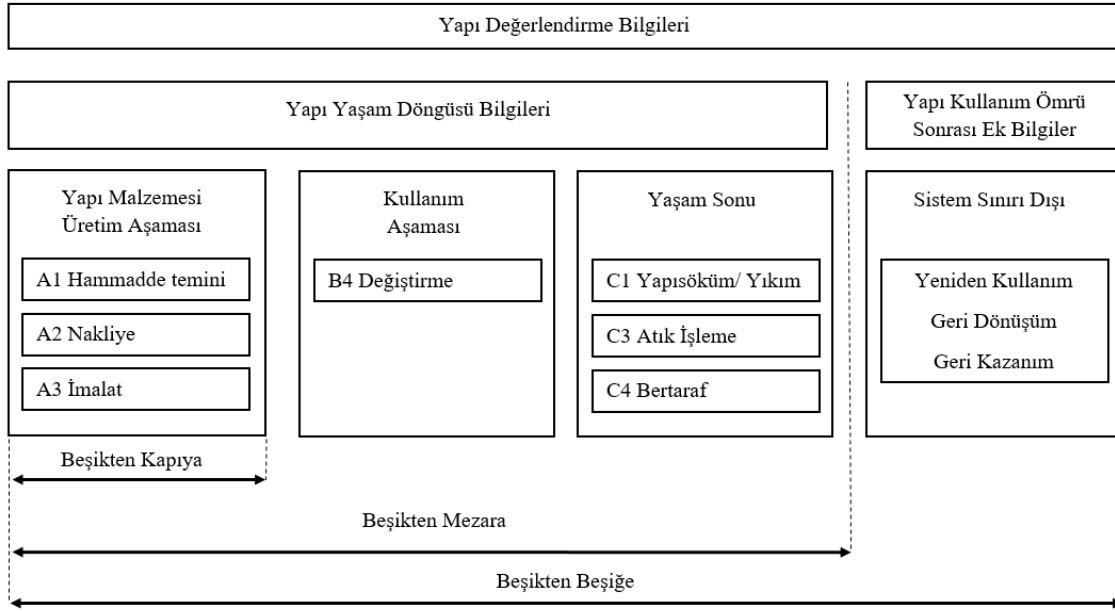
Bir yapı malzemesinin YDD çalışması yürütülürken, *i*) Beşikten Kapıya (Cradle-to-Gate), *ii*) Beşikten Mezara (Cradle-to-Grave), *iii*) Beşikten Beşiğe (Cradle-to-Cradle) olmak üç farklı sistem sınırı önerilmektedir.

Beşikten kapıya yaklaşımı, yapı malzemesinin üretimi için hammaddenin doğadan çıkarılması, üretim için taşınması, işlenmesi, yapı malzemesi haline getirilmesi aşamalarını kapsamaktadır.

Beşikten mezara yaklaşımı, beşikten kapıya yaklaşımına ek olarak malzemenin yapıda kullanılmak üzere nakliyesini, yapıda uygulanmasını (montaj), yapıdaki hizmet ömrünü, bakım, onarım ve nihai bertaraf süreçlerini kapsamaktadır.

Beşikten beşiğe yaklaşımı, beşikten mezara yaklaşımına ek olarak yeniden kullanım, geri kazanım veya geri dönüşüm aşamalarını içermektedir.

Yapı değerlendirmesinde yapı malzemelerinin sistem sınırlarına ait gösterim Şekil 2.7’de verilmiştir (Häfliger vd. 2017).



Şekil 2.7 Yapı üretiminde yapı malzemelerinin sistem sınırları (Häfliger vd. 2017).

Yapı malzemelerinin YDD’lerinde en çok benimsenen sistem sınırı beşikten mezara yaklaşımıdır (Anand ve Amor 2017).

2.5.1.4 Yaşam Sonu Yaklaşımı

Yaşam sonu, bir ürünün kullanım ömrünü tamamladıktan sonraki süreci ifade etmektedir. Yaşam sonu ile ilgili etkilerin değerlendirilebilmesi için geliştirilmiş çeşitli YDD yaklaşımları bulunmaktadır. Bunlardan en bilineni kaçınılan yük yaklaşımıdır (Mengarelli vd. 2017).

Geri dönüştürülmüş içerikli malzemelerin kullanılması her zaman çevresel yükleri azaltmamaktadır. Geri dönüştürülmek üzere atıkların toplanması ve ayrıştırılması yüksek

enerji gerektirebilmektedir. Kaçınılan yük yaklaşımına göre malzemenin yeni üretilmesi ve geri dönüştürülmesi sürecine çevresel yükler eşit oranda (50:50) paylaştırılmaktadır. Hesaplamada kullanılan matematiksel denkleme göre, geri dönüşümün çevresel etkileri, yeni malzeme üretimi ve nihai atık işlemenin birleşik etkilerinden daha az olduğunda geri dönüşüm tercih edilmektedir (Nicholson vd. 2009).

Burada detayları verilemeyen başka yaşam sonu yaklaşımları da mevcuttur. Bu yaklaşımlar geri dönüşüm süreciyle ilgili yükleri ve kredileri sayısallaştırırken farklı matematiksel denklemler kullanmaktadır. Kaçınılan yük yaklaşımında yarı yarıya olan yük paylaşım oranları kullanılan yaklaşıma göre farklılık göstermektedir. Yaşam sonu yaklaşımına ilişkin literatürde ortak bir fikir birliği bulunmadığından ve ISO standartları herhangi bir prosedürü zorunlu tutmadığından, uygulayıcılar genel olarak çevresel sürdürülebilirliği en çok destekleyen yaklaşımı kullanma eğilimi göstermektedirler (Mengarelli vd. 2017).

2.5.2 YDD’de Amaç ve Kapsamın Tanımı

YDD’nin ilk aşamasıdır. Bu aşamada YDD’nin amacı ve kapsamının, hedeflenen uygulama ile tutarlı olacak şekilde açıkça tanımlanması gerekmektedir (ISO 14044 2006). YDD’nin tekrarlı yapısı dolayısıyla çalışma sırasında kapsamının genişletilmesi veya sadeleştirilmesi yoluna gidilebilmektedir.

Amaç tanımında, YDD’yi gerçekleştiren taraflarca aşağıdaki soruların cevaplanması gerekmektedir (Klöppfer ve Grahl 2014):

- i) Çalışmanın amacı nedir?
- ii) Çalışma neden yürütülmektedir?
- iii) Çalışma kimler için yürütülmektedir?
- iv) Karşılaştırmalı beyanlarda kullanılacak mı?

Kapsam tanımı, ele alınan ürün sistemi/sistemlerini, çalışmada kullanılacak fonksiyonel

birimi, sistem sınırlarını, seçilen etki kategorilerini, etki değerlendirme yöntemini, ihtiyaç duyulan verileri, kabulleri ve varsayımları, sınırlamaları, uygulanacaksa eleştirel gözden geçirmenin tipini, raporlama yöntemini içerecek şekilde yapılmalıdır (ISO 14040 2006). YDD'lerde ürün sistemleri (Şekil 2.5) ve sistem sınırları (Şekil 2.7) aktarım kolaylığı sağlaması nedeniyle akış şemaları şeklinde tanımlanmaktadır. Akış şemaları ürün ağacı olarak da adlandırılmaktadır.

2.5.3 YDD'de Envanter Analizi

Bir ürünün veya ürün sisteminin yaşam döngüsü boyunca bütün girdi ve çıktılarına ait verilerin toplandığı YDD aşamasıdır. Envanter analizi aşağıdaki yasalara dayanmaktadır (Klopffer ve Grahl 2014).

- i) Kütlenin korunumu yasası
- ii) Enerjinin korunumu yasası
- iii) Entropi yasası (örneğin, fosil yakıtların yakılması yoluyla CO₂ yüklerinin belirlenmesi için kullanılır.)
- iv) Stokiyometri ilkeleri (kimyasal bir tepkimeye giren ve çıkan maddeler arasındaki kütle hesaplamalar.)
- v) Kütle-enerji eşdeğerliği

Bu ilkeler envanter analizinin bilimsel dayanağını ve güvenilirliğini artırmakla beraber, ölçülmüş verilerin yokluğunda, bir kimyasal reaksiyon sonucunda maksimum ne kadar enerji açığa çıkabileceği, ne kadar ürün veya emisyon açığa çıkabileceği vb. tahmininde kullanılmaktadır.

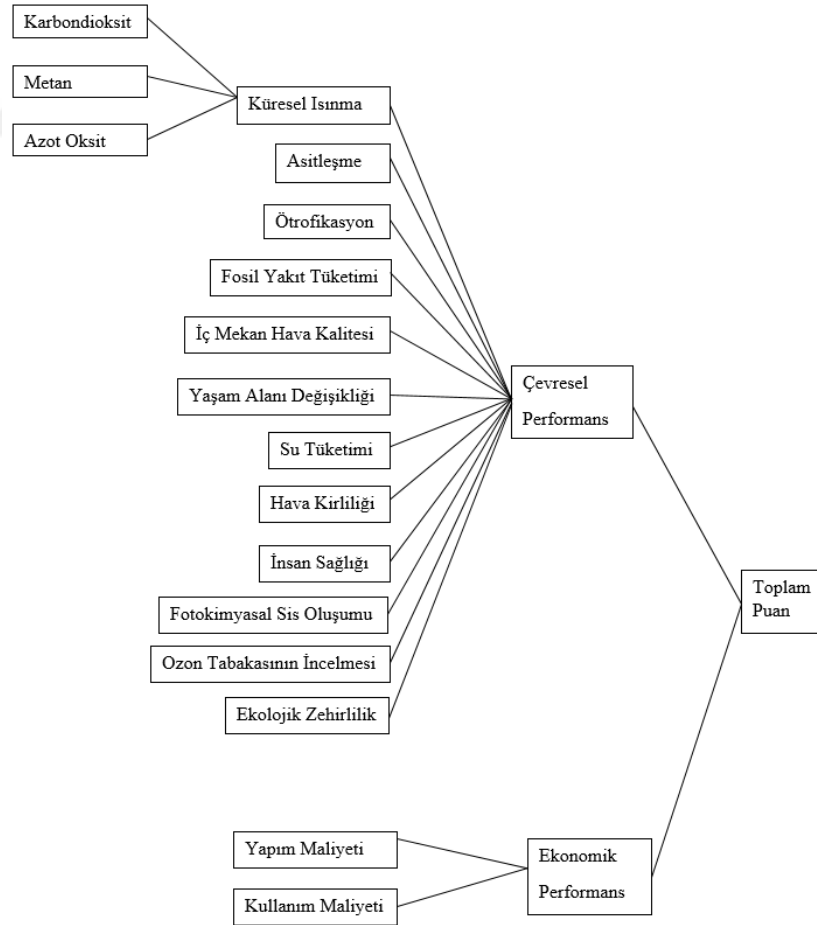
Envanter analizi için toplanması gereken veriler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (ISO 14040 2006).

- i) Enerji girdileri, hammadde girdileri, diğer yardımcı ve fiziksel girdiler
- ii) Ürünler, yan ürünler, atık
- iii) Havaya emisyonlar, toprağa ve suya atıklar

iv) Diğer çevresel veriler

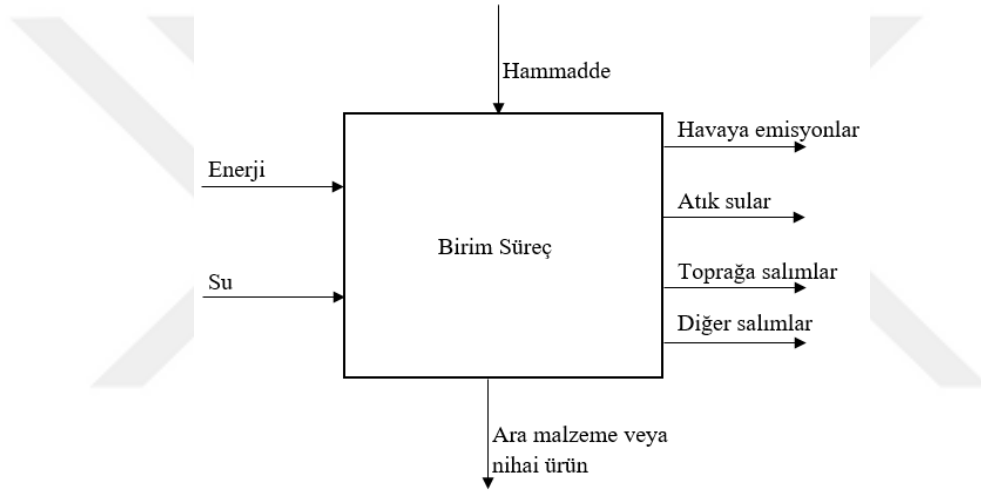
Envanter analizi için veri toplandıkça, sistem hakkında daha fazla bilgi sahibi olundukça, yeni veri gereklilikleri veya sınırlamalar tanımlanabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapı malzemelerinin envanter verileri BEES Online veri tabanından temin edilmiştir. NIST tarafından geliştirilen BEES, uygun maliyetli, çevresel açıdan tercih edilen yapı malzemelerinin seçilmesine yardımcı olan online bir yazılımdır (İnt. Kyn. 6). Veri tabanında kayıtlı 255 adet malzemenin çevresel performansları ISO 14040 (2006) standardında tanımlanan YDD yaklaşımına göre, ekonomik performansları ise ASTM E917- yaşam döngüsü maliyeti (Life-Cycle Costing) standardında yer alan metodolojiye göre değerlendirmektedir. Hesaplama modeli Şekil 2.8’de görülmektedir (İnt. Kyn. 6).



Şekil 2.8 BEES modeli (İnt. Kyn. 6).

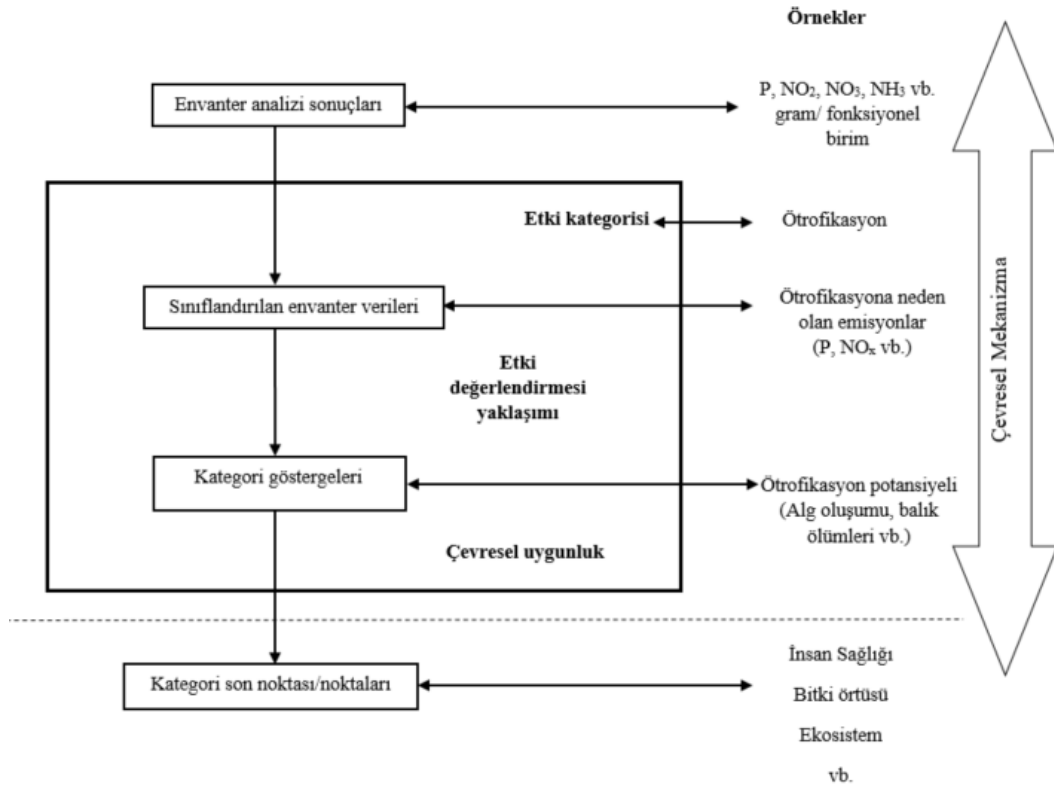
YDD uygulamasında, ürün sisteminin envanter akışlarının sayısal olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Su, enerji, hammadde akışları ile havaya, toprağa, suya emisyonlar envanter akışlarını oluşturmaktadır. Bir malzemenin üretim süreci pek çok birim süreçten oluşmaktadır. Her bir birim süreç birçok envanter akışı içermektedir. Envanter akışı sayısının artması YDD'nin uygulanması ve yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca envanter akışlarının sınırlandırılması etki değerlendirmesinin kalitesini artırmaktadır. Bu nedenle sadece önemli etkilere sahip olan envanter akışları dikkate alınarak YDD süreci kısaltılmaktadır. Şekil 2.9, BEES sisteminde envanter verilerinin gruplandırıldığı kategorileri göstermektedir (İnt. Kyn. 6).



Şekil 2.9 BEES envanter verileri kategorileri (İnt. Kyn. 6).

2.5.4 YDD'de Etki Değerlendirmesi

Etki değerlendirme, envanter analizi sonuçları kullanılarak ele alınan ürün veya ürün sisteminin olası çevresel etkilerinin önemini değerlendirilmesi aşamasıdır. Bu aşamada çevresel etki kategorileri, kategori göstergeleri ile birleştirilir (ISO 14040 2006). Kategori göstergesi kavramı Şekil 2.10'da açıklanmaktadır (ISO 14044 2006).



Şekil 2.10 Kategori göstergesi kavramı (ISO 14044 2006).

Kategori göstergesi, envanter analizi sonuçları ve kategori son noktası/ noktaları arasında çevresel mekanizma boyunca herhangi bir yerde belirlenebilir.

Etki değerlendirmesi aşamasını açıklarken, ISO 14044 (2006) kapsamında kullanılan kavramlara karşılık gelen örnekler Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Etki değerlendirmesinin gerekliliği aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- i) Bir ürünün fonksiyonel biriminin potansiyel çevresel etkilerinin belirlenmesi için etki değerlendirmesi YDD’nin zorunlu unsurlarındandır (ISO 14044 2006).
- ii) Eksiksiz yapılmış bir envanter çalışması, kütle akışları, emisyonlar, kaynak tüketimi, enerji tüketimi gibi çok fazla veri içerir (Klöppfer ve Grahl 2014). Envanter çalışması beklenenden daha fazla veri sağlayabilir. Bütün bu veriler etki değerlendirmesi aşamasında birleştirilir.

iii) Örneğin A ürün sistemi B ürün sistemine göre yaşam döngüsü içerisinde daha az enerji kullanımını gerektiriyor fakat daha fazla çevresel emisyonu neden oluyorsa, bu durum A ürün sisteminin B ürün sistemine göre ekolojik üstünlüğü anlamına gelmemektedir. Etki değerlendirmesi somut değerlendirme yapılmasını sağlar.

Çizelge 2.7 Etki değerlendirmesi kavramlarına örnekler.

Kavram	Örnek
Çevresel etki kategorisi	Ötrofikasyon
YDD sonuçları	Fonksiyonel birim başına hesaplanan mineral besin birikimi miktarları
Etki değerlendirmesi yaklaşımı	EUTREND modeli
Kategori göstergesi	Su canlılarının ölümü vb.
Emisyon faktörü	Mineral maddelerin ötrofikasyon potansiyeli
Kategori gösterge sonucu	Fonksiyonel birim başına kg N eş değeri, kg PO ₄ ³⁻ eş değeri gibi
Kategori son noktaları	Ormanlar, göller, ekosistem
Çevreyle olan ilgisi	Tatlı su göllerinde ve akarsularda besin birikiminin alg oluşmasını artırması, algler dolayısıyla oksijen eksikliği açığa çıkması, oksijen eksikliğine bağlı olarak balık gibi türlerin ölümü gibi ekosistem üzerindeki potansiyel etkiler için bir yaklaşım

Etki değerlendirmesi Çizelge 2.8’deki zorunlu ve isteğe bağlı unsurları içermektedir (ISO 14040 2006).

Çizelge 2.8 Etki değerlendirmesinin unsurları (ISO 14040 2006).

Zorunlu Unsurlar	İsteğe Bağlı Unsurlar
Etki kategorilerinin, kategori göstergelerinin ve etki değerlendirme yaklaşımlarının seçimi	Ağırlıklandırma (Gösterge sonuçlarının sayısallaştırılarak etki kategorilerine dönüştürülmesi)
Kategori gösterge sonuçlarının hesaplanması	Normalleştirme (Etki kategorilerinin sonuçlarının büyüklüğünün referans bilgiye göre hesaplanması)
Envanter analizi sonuçlarının sınıflandırılması	Gruplandırma (Etki kategorilerinin sıralanması ve mümkünse derecelendirilmesi)

İsteğe bağlı unsurlar, açıklanmak koşuluyla yaşam döngüsü etki değerlendirme çerçevesinin dışındaki bilgileri kullanabilir.

Etki değerlendirmesi yaklaşımlarından bazıları aşağıda açıklanmaktadır.

Envanterlerin Doğrudan Kullanımı: Bu yaklaşımda, herhangi bir etki değerlendirmesi yapılmadan envanter akışı değerleri doğrudan kullanılmaktadır (Lippiatt 2007).

CML: Hollanda'da Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Merkezi tarafından geliştirilen yaklaşım, Avrupa'nın bölgesel koşullarını dikkate alarak çevresel etki kategorileri zorunlu ve zorunlu olmayan kategoriler olarak gruplandırmaktadır. Bu yaklaşıma göre çevresel etki kategorileri, kişi başı çevresel etki olarak normalleştirilmektedir.

Ekolojik Kıtık: İsviçre Federal Çevre Ofisi (Federal Office for the Environment, FOEN) tarafından geliştirilmiş ve İsviçre, İsveç, Belçika, Hollanda ve Almanya için uygulanmıştır. Her bir envanter akışı için eko-faktörler kullanılarak eko-puanlar hesaplanır. Belli bir coğrafi bölge için eko-faktörler belirlenmektedir. Envanter akışların eko-puanlarının toplanmasıyla tek bir çevresel etki değeri elde edilir.

Çevresel Öncelik Sistemi (EPS): İsveç Çevresel Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Çevresel etkileri değerlendirmek için ekonomik temelli bir yaklaşım kullanılmaktadır. Toplumun her bir çevresel etkinin önemine ilişkin yargısı, etkinin yoğunluğu ve sıklığı, etkinin yeri ve zamanlaması, her akışın söz konusu etkiye katkısı, her bir envanter akışını bir ağırlık birimi azaltmanın maliyeti tek bir değer olarak ifade edilmekte ve çevresel etki değeri hesaplanmaktadır.

Eko Gösterge 99: Hollanda'da geliştirilmiş hasar-odaklı bir etki değerlendirme yaklaşımıdır. Çevresel etkilerin göreceli öneminin ağırlıklandırılmasını basitleştirmesi nedeniyle önemli bir yaklaşımdır. İnsan sağlığı, ekosistem kalitesi, kaynaklar gibi etki kategorileri için hasar modelleri geliştirilmiştir.

Çevresel Problemler: SETAC tarafından geliştirilmiş bir yaklaşımdır. İki aşamalı bir

süreçtir. Belirli çevresel etkilerin envanter akışları sınıflandırılır. Örneğin, karbondioksit, metan ve azot oksit gibi sera gazları küresel ısınmaya katkıda bulunan olarak sınıflandırılır.

Sınıflandırılmış her bir envanter akışının ilgili çevresel etki kategorisine olan etkisinin karakterizasyonu yapılır. Sınıflandırılmış envanter akışlarının çevresel etkiye katkısı ağırlıklandırılarak bir indeks hesaplanır. Örneğin, Küresel Isınma Potansiyeli indeksi, küresel ısınma etki kategorisine katılan her bir envanter akışının CO₂ eşdeğeri cinsinden hesaplanmasıyla elde edilir (Fava ve Weston 1993, Guinée vd. 2001, Lippiatt 2007).

IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli): UNEP (United Nations Environment Programme-Birleşmiş Milletler Çevre Programı) ve WMO (World Meteorological Organization-Dünya Meteoroloji Örgütü) tarafından geliştirilmiş iklim değişikliği değerlendirme yaklaşımıdır.

Envanter akışlarının, çevresel etki kategorilerinin sayısal değerleri olarak ifade edilmesinde etki değerlendirmesi yaklaşımlarından yararlanılmaktadır. Bu aşamada ihtiyaç duyulan verilerden biri de emisyon faktörleridir. Emisyon faktörleri (karakterizasyon faktörleri), çevresel etki kategorisine etkide bulunan referans maddelerin katkılarını temsil eden katsayılardır. Yukarıdaki örnekte belirtildiği gibi küresel ısınma indeksinin hesaplanabilmesi için küresel ısınma etki kategorisine katılan her bir envanter akışının CO₂ eşdeğeri cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir. Envanter akışlarının CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilebilmesi için dönüşüm katsayıları kullanılmaktadır. Bu dönüşüm katsayıları, emisyon faktörleridir. Çoğunlukla referans maddeler ile emisyon faktörleri arasında normal dağılım olduğu varsayılarak değerler belirlenmektedir (Ryberg vd. 2014). Çevresel etki kategorilerinin referans maddelerine göre dönüşümler emisyon faktörleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Dönüşüm işlemi, çevresel etki kategorilerinin karakterize edilmesini ifade etmektedir.

2.5.4.1 Ağırlıklandırma

Ağırlıklandırma, çevresel etki kategorilerine önem derecelerine göre öznel değer

verilmesidir (Karaman Öztaş 2014). Bu değerler kullanılarak çevresel etki kategorileri gösterge sonuçlarına dönüştürülmektedir. Hesaplama prosedürü, doğrudan gösterge sonuçlarının veya normalleştirilmiş sonuçların ağırlık değerleri ile çarpıldıktan sonra elde edilen değerlerin toplanması esasına dayanmaktadır (ISO 14044 2006).

Çalışmada yararlanılan, BEES Online aracılığıyla değerlendirme yapılırken farklı ağırlık setlerinden yararlanma imkanı bulunmaktadır. Bu ağırlık setlerine ilişkin bilgiler Çizelge 2.9’da görülmektedir (İnt. Kyn. 6).

Çizelge 2.9 Çevresel etki kategori ağırlıkları (İnt. Kyn. 6).

Çevresel Etki Kategorisi	BEES Paydaş	EPA Bilim	Eşit
	Paneli	Danışma Kurulu	Ağırlıklandırma
Asitleşme	3	5	9
Ekolojik Zehirlilik	7	11	8
Fosil Yakıt Tüketimi	10	5	9
Fotokimyasal Sis Oluşumu	4	6	8
Hava Kirliliği	9	6	8
İç Mekan Hava Kalitesi	3	11	8
Kansere Neden	8	7	5
İnsan Olan	13	11	8
Sağlığı Kansere Neden	5	4	3
Olmayan			
Küresel Isınma	29	16	9
Ozon Tabakasının İncelmesi	2	5	8
Ötrofikasyon	6	5	9
Su Tüketimi	8	3	8
Yaşam Alanı Değişikliği	6	16	8

EPA Bilim Danışma Kurulu 2000 yılında çevresel etki kategorilerinin göreceli önemlerine dair listeler hazırlamıştır (Gloria vd. 2007). Hazırlanan listelerde etkinin mekânsal ölçeği, tehlikenin ciddiyeti, maruz kalma derecesi ve cezalandırma kriterleri dikkate alınmıştır. Sözel önem dereceleri sayısal önem derecelerine çevrilirken AHP tekniğinden yararlanılmıştır.

BEES Paydaş Paneli ağırlıklarının oluşturulması için 2006 yılında gönüllü bir paydaş

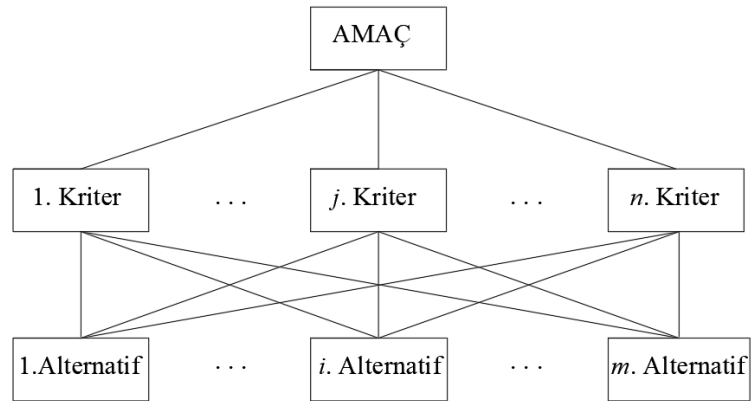
paneli oluşturulmuştur (Gloria vd. 2007). On dokuz kişinin katıldığı bir günlük panelde yedi yapı malzemesi üreticisi, yedi yeşil bina tasarımcısı, beş YDD uzmanı yer almıştır. Panel katılımcıları, çevresel etki kategorilerini kısa vadede (0 ila 10 yıl), orta vadede (10 ila 100 yıl) ve uzun vadede (> 100 yıl) ağırlıklandırmıştır. Katılımcıların yanıtları AHP ile değerlendirilerek BEES Paydaş Paneli ağırlıkları oluşturulmuştur.

Analitik Hiyerarşi Süreci

AHP, bir bireyin veya bir grubun karar verirken ortaya koyduğu öznel ve kişisel tercihlerinin nesnel matematiksel ifadesidir (Saaty 2001). Fikirlerin, duyguların, düşüncelerin, tecrübelerin sayısal olarak ölçülmesi imkanını tanımaktadır.

AHP'nin uygulanmasında aşağıdaki adımlar izlenmektedir:

1. Karar verme problemini ifade eden hiyerarşik yapı Şekil 2.11'de gösterildiği gibi yapılandırılmaktadır. Hiyerarşide amaç en üst düzeyde, amacın altında söz konusu amaca ulaşmak için karar kriterleri, varsa alt kriterler ve en altta karar alternatifleri yer almaktadır (Wang vd. 2008).



Şekil 2.11 Hiyerarşik yapı.

2. Kriterlerin kendi aralarında karşılaştırıldığı ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 2.10'daki gibi oluşturulmaktadır (Deng vd. 2014).

Çizelge 2.10 İkili karşılaştırma matrisi.

	1.Kriter	2.Kriter	...	n. Kriter
1.Kriter	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_n
2. Kriter	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_n
...	...	...	...	...
n. Kriter	w_n/w_1	w_n/w_2	...	w_n/w_n

$n \times n$ boyutlu kare matris kriterler arası karşılaştırma matrisini ifade etmektedir (Aytekin vd. 2012). Burada w_i/w_j , i. kriterin, j. kriterden ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (Özdemir Sağır 2002). Bu karşılaştırmalar Çizelge 2.11’de verilen ölçeğe göre yapılmaktadır (Saaty 1987).

Çizelge 2.11 Temel ölçek.

Önem Değerleri	Tanımlar	Açıklama
1	Eşit önem	Her iki kriterin eşit öneme sahip olması durumu
3	Birinin diğerine göre orta derecede önemli olması	1. kriterin 2. Kriterden daha önemli olması durumu
5	Temel veya güçlü önem	1. kriterin 2. Kriterden çok önemli olması durumu
7	Çok güçlü önem	1. kriterin 2. Kriteria göre çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	Aşırı önem	1. kriterin 2. Kriteria göre aşırı öneme sahip olması durumu
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Ara değerler
Karşıtlık	i .kriter, j .kriter ile karşılaştırıldığında yukarıdaki değerlerden birini alıyorsa; j .kriter, i .kriter ile karşılaştırıldığında ise ters değer alır. (Örneğin a , $1/a$ gibi.)	

3. Kriterlerin bütün kriterler içerisindeki göreceli önemlerini belirlemek için ikili karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörlerinden yararlanılmaktadır (Yaralıoğlu 2001, Ansah vd. 2015). Sütunun her bir elemanı, sütun toplamına bölünmektedir. Bu işlem, matrisin normalize edilmesini ifade etmektedir. Normalize edilmiş matrisin satır ortalamalarının alınmasıyla göreceli önem vektörü elde edilmektedir.

4. Kriterlerin göreceli önem değerleri belirlendikten sonra matris tutarlılığının (CR) hesaplanması gerekmektedir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlı olabilmesi için, en büyük öz değerinin (λ_{max}) matris boyutuna (n) eşit olması gerekmektedir (Özdemir Sağır 2002). İkili karşılaştırma matrisinin her bir satırının göreceli önem vektörüyle çarpılmasıyla öncelik vektörü elde edilir. Daha sonra öncelik vektörünün her elemanı, göreceli önem vektöründe karşılık gelen elemana bölünmesiyle elde edilen vektörün aritmetik ortalamasının alınmasıyla en büyük öz değeri (λ_{max}) elde edilir (Özdemir Sağır 2002).

Karar vericiler ikili karşılaştırmalar sırasında dikkatsiz davrandığında, hata yaptığına veya abartılı bir yargıda bulunduğu tutarsızlık bu aşamada belirlenebilmektedir (Hafeez vd. 2007). CR'nin kabul edilebilir üst sınırı 0,1 değerini alabilmektedir. 0,1'den büyük değerler elde edilirse karar vericilerin kabul edilebilir orana (<0,1) ulaşılana kadar ikili karşılaştırma matrisindeki yargılarını yeniden değerlendirmeleri gerekmektedir. Tutarlılık oranının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmaktadır (Özel ve Türkel 2018).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.1)$$

Burada CI, tutarlılık göstergesini, RI ise rassallık göstergesini ifade etmektedir. Tutarlılık göstergesi CI, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.2)$$

Yapılan bir dizi çalışmalar sonucunda matris boyutu 1, 2, 3, ..., 15 olan matrisler için

elde edilen rassallık göstergeleri Çizelge 2.12’de verilmiştir (Saaty 2008). Rassallık göstergeleri gerçekleştirilen elli bin çalışmanın ortalamasının alınmasıyla elde edilen ve literatürde kabul gören değerlerdir.

Çizelge 2.12 Rassallık göstergeleri.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Rassallık göstergeleri en fazla 15×15 bir matris için ortaya konmuştur. Kriter sayısının on beşten fazla olması durumunda tutarlı sonuçlar elde edilebilmesi için kriterlerin gruplandırılması gerekmektedir (Saaty 2008).

2.5.4.2 Normalleştirme

Normalleştirme, çevresel etki kategorilerinin sayısal sonuçlarının seçilen referans değerlere bölünmesi anlamına gelmektedir. Normalleştirme yapılarak uyumsuzluk kontrolleri yapılmakta, her bir çevresel etki kategorisinin bağıl önemi ortaya konarak etki kategorilerinin öneminin daha iyi anlaşılması sağlanmaktadır. Çevresel etki kategorilerine ait gösterge sonuçları bir referans değere bölünerek, gösterge sonuçları değiştirilmektedir.

Referans değerlerin bazı örnekleri aşağıdaki gibidir (ISO 14044 2006):

- i) Küresel, bölgesel, ulusal veya yerel bir alan için toplam girdiler ve çıktılar,
- ii) Bir alan için, kişi başına vb. toplam girdiler ve çıktılar,
- iii) Alternatif bir ürün sistemi gibi, temel bir senaryodaki girdiler ve çıktılar.

Seçilen referans yılı, çalışmanın referans dönemiyle uyumlu olmalıdır. Normalleştirme, uyumsuzlukların kontrolü ve çevresel etki kategorilerine ait sonuçların birbirine göre öneminin değerlendirilebilmesi açısından faydalı olabilecek isteğe bağlı bir unsurdur. Etki kategorilerinin normalleştirilmiş sonuçlarının toplanmasıyla normalleştirilmiş yaşam döngüsü etki değerlendirmesi sonucu elde edilmektedir.

Örneğin Almanya ve Hollanda için referans değer olarak kişi başı toplam girdiler ve çıktılar ele alınırken Çin’de bir yılda tüm inşaat sektöründeki birim yapı taban alanı başına düşen toplam çevresel yükler dikkate alınmaktadır (Karaman Öztaş 2014). Avustralya’da referans alınan yıl için kişi başına düşen çevresel etkiler hesaplanırken, ABD’de ise referans alınan yıl için kişi başına açığa çıkarılan emisyon miktarı hesaplanmaktadır. Çevresel etki değerlendirmesi araçlarının birçoğu, çalışma alanının çevresel etkilerini, hesaplama yapılan bölgenin nüfusuna bölerek kişi başı çevresel etkiyi normalleştirme değeri olarak ele almaktadır.

2.5.4.3 Gruplandırma

Gruplandırma, çevresel etki kategorilerinin sınıflandırılması, sıralanması derecelendirmesini içerebilir. Gruplandırma çoğunlukla aşağıdaki şekillerde uygulanmaktadır (ISO 14044 2006):

- i) Çevresel etki kategorilerinin girdiler ve çıktılarına göre sıralama,
- ii) Küresel, bölgesel ve yerel özelliklerle ilgili ölçeklere göre sıralama,
- iii) Çevresel etki kategorilerinin hiyerarşik bir düzen içerisinde derecelendirilmesi (yüksek, orta, düşük öncelikli gibi).

Derecelendirme farklı grupların (birey, kuruluş, toplum gibi) tercihleri doğrultusunda yapılabilir. Bu nedenle aynı normalleştirilmiş sonuçlara göre farklı derecelendirmeler yapılabilir.

EPA Bilim Danışma Kurulu çevresel etkileri göreceli önemine göre aşağıdaki gibi gruplandırmıştır:

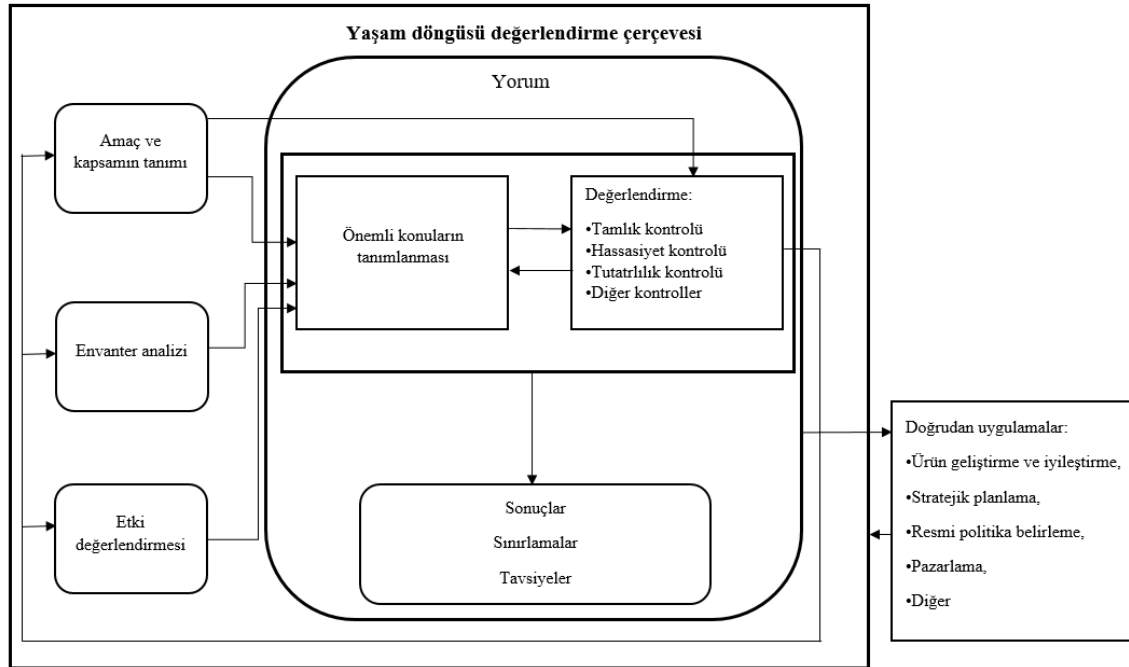
- En Yüksek Risk Grubu: Küresel ısınma, yaşam alanının değişikliği,
- Yüksek Risk Grubu: İç hava kalitesi, ekolojik zehirlilik, insan sağlığı,
- Orta Risk Grubu: Ozon tabakasının incilmesi, fotokimyasal sis oluşumu,

asitleşme, ötrofikasyon, hava kirliliği.

EPA Bilim Danışma Kurulu, fosil yakıt tüketimi ve su tüketimini etki olarak dikkate almamıştır. Bu iki etki kategorisinin nispeten orta risk ve düşük risk grubunda yer aldığı varsayılmıştır.

2.5.5 YDD’de Yorum

Yorumlama aşaması, envanter analizi ve etki değerlendirmesi aşamalarından elde edilen sonuçların, amaç ve kapsama uygun şekilde, birlikte değerlendirildiği aşamadır. Bu aşamada, sınırlamalar açıklanır, tavsiyelerde bulunulur ve sonuçlar ortaya konur. Yorumun bulguları, çalışmanın amaç ve kapsamıyla uyumlu olarak karar vericilere tavsiyeler şeklinde olabilir (ISO 14040 2006). Eleştirel gözden geçirme uygulanacaksa tekrarlı bir süreç gerekebilir. Yorum aşamasının, YDD’nin diğer aşamalarıyla olan ilişkisi Şekil 2.12’de gösterilmiştir (ISO 14044 2006).



Şekil 2.12 Yorum aşamasındaki unsurlarla YDD’nin diğer aşamaları arasındaki ilişkiler (ISO 14044 2006).

Şekil 2.12’deki önemli konular, emisyonlar gibi envanter verileri, küresel ısınma gibi etki

kategorileri ve birim süreçlerdir. Tamlık kontrolü yorumlama için gereken bütün bilgilerin tam olması, hassasiyet kontrolü sonuçların güvenilirliğinin değerlendirilmesi; tutarlılık kontrolü ise varsayımların, yöntemlerin ve verilerin amaç ve kapsamla uyumluluğunun kontrol edilmesidir.

2.6 LEED Yeşil Bina Derecelendirme Sistemi Kredileri

Çalışmada LEED v4.1 BD+NC malzeme ile ilgili kredileri araştırılmıştır. LEED v4.1 BD+NC'nin *malzeme ve kaynaklar* kategorisinin içeriğinde iki ön koşul ve beş kredi yer almaktadır. *İç mekan kalitesi* kategorisi altında yer alan *düşük emisyonlu malzemeler* kredisi malzeme seçimi ile ilgili olduğundan çalışma kapsamında incelenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde incelenen kredilere ilişkin detaylar açıklanmaktadır. Burada MR, LEED v4.1 BD+NC'nin malzeme ve kaynaklar kredilerini, EQ ise iç mekan kalitesi kredisini ifade etmektedir.

Projelerin sertifika kapsamında değerlendirilebilmesi için ön koşulların yerine getirilmesi gerekmektedir. Daha sonra krediler değerlendirilerek puanlama yapılmaktadır.

Geri Dönüştürülebilir Maddelerin Toplanması ve Depolanması (MR Ön Koşul):

Geri dönüştürülebilir maddelerin toplanması ve depolanması ön koşulu, bina sakinleri tarafından üretilen atıkların azaltılmasını amaçlamaktadır. Atık üretiminin azalmasına bağlı olarak atık taşınması, depolanması ve bertaraf edilmesi süreçleri de azalacaktır. Bu kapsamda, geri dönüştürülebilir malzemelerin toplanması ve depolanması için özel alanlar sağlanması, pil, cıva içerikli malzeme (lambda gibi), elektronik atıklar için ise uygun önlemler altında toplama ve depolama alanı sağlanması şartı aranmaktadır (USGBC 2020).

İnşaat ve Yıkım Atık Yönetim Planı (MR Ön Koşul): İnşaat ve yıkım atık yönetim planı oluşturulmalıdır. Oluşturulan atık yönetim planında en az beş farklı geri dönüştürülebilir atık için yönetim stratejileri sunulmalıdır.

Yaşam Döngüsü Etki Azaltma (MR Kredi): Yaşam döngüsü etki azaltma kredisi, yapı

ürünlerinin ve yapı malzemelerinin çevresel performanslarını optimize etmeyi ve yeniden kullanımlarını teşvik etmeyi hedeflemektedir. YDD yoluyla malzeme kullanımında veya çevresel etkilerinde azalma iki şekilde gösterilebilmektedir (USGBC 2020).

Seçenek 1: Yapının ve yapı malzemesinin yeniden kullanımı (1-5 puan)

Mevcut bir binanın yapısı, kabuğu, yapısal olmayan elemanları korunarak yeniden kullanılabilir. Yeniden kullanılan malzemeler puan hesaplamasına kredi sağlamaktadır. Malzemelerin yeniden kullanımı bu kredi için puan getirisi sağlayabilir ancak hammadde temini kredisine puan kazandıramayacaktır.

Yol 1: Mevcut bir binanın yapısı ve kabuğu korunarak yeniden kullanılabilir. Projenin taban alanına göre yeniden kullanım oranı %15 ise 1 puan, %30 ise 2 puan, %45 ise 3 puan, %60 ise 4 puan, %75 ise 5 puan kazanılır.

Yol 2: Projenin toplam taban alanının en az %30'unda yapısal olmayan iç mekan malzemeleri (iç duvar, kapı, zemin kaplamaları vb.) yeniden kullanılan malzeme olmalıdır (1 puan).

Seçenek 2: Bütün bina yaşam döngüsü değerlendirmesi (1-4 puan)

Yol 1: Projenin yapısı ve kapsamı hakkında YDD yapılır (1 puan). Burada yapılacak olan YDD, ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına uyumlu olacak şekilde seçilen yapı malzemeleri için beşikten mezara gerçekleştirilmelidir.

Yol 2: Çizelge 2.13'deki etki kategorilerinden biri küresel ısınma potansiyeli olmak üzere en az üçü için YDD yapılarak, projenin referans bir binaya nispeten en az %5 oranında çevresel etki azalması sağladığı gösterilir (2 puan).

Yol 3: Çizelge 2.13'deki etki kategorilerinden biri küresel ısınma potansiyeli olmak üzere en az üçü için YDD yapılarak, projenin referans bir binaya nispeten en az %10 oranında çevresel etki azalması sağladığı gösterilir (3 puan).

Yol 4: Yol 3'ün gereklilikleri sağlanır ve proje kapsamına yeniden kullanılan malzemeler dahil edilir. Projenin referans bir binaya oranla küresel ısınma potansiyelinde en az %20 oranında azalma sağladığı gösterilir. Ayrıca Çizelge 2.13'deki etki kategorilerinin ikisi için daha referans binaya göre %10 azalma sağlandığı gösterilmelidir (4 puan).

Çizelge 2.13 LEED'de YDD çevresel etki kategorileri.

Çevresel Etki Kategorisi	Referans Birimi
Küresel ısınma potansiyeli (sera gazları)	kg CO ₂ eşdeğeri
Stratosferdeki ozon tabakasının incilmesi	kg CFC-11 eşdeğeri
Toprak ve su kaynaklarının asitleşmesi	H ⁺ mol veya kg SO ₂ eşdeğeri
Ötrofikasyon	kg N veya kg PO ₄ ³⁻ eşdeğeri
Troposferik ozon oluşumu	kg NO _x , kg O ₃ veya kg eten eşdeğeri
Yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketilmesi	CML'de MJ veya TRACI'de fosil yakıt tüketimi eşdeğeri

Dikkate alınan referans bina, uygulama yapılan bölgeyi yansıtan standart projeler olmalı ve ASHRAE 90.1-2016 standardı EK-G'ye uygun şekilde simülasyonu yapılmalıdır. Referans bina ve yeni proje karşılaştırılabilir boyut ve işleve sahip olmalıdır. Binaların hizmet ömürleri aynı olmalıdır. Varsayımlar standart tasarımlara ve malzeme seçimlerine dayanmalıdır. Her iki bina için de ISO 14044 ile uyumlu olacak şekilde aynı çevresel etki kategorileri raporlanmalıdır.

Çevresel Ürün Beyanı- EPD (MR Kredi): Kredi, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan yaşam döngüsü bilgisi bulunan ürün ve malzemelerin kullanımını teşvik etmeyi, çevresel ürün beyanı bulunan malzemeleri projede kullanmak üzere seçen proje ekibini ödüllendirmeyi amaçlamaktadır. İki seçenekte gerçekleştirilebilmektedir (USGBC 2020).

Seçenek 1: Çevresel Ürün Beyanı (Environmental Product Declaration, EPD)(1 puan)

Aşağıdaki kriterleri karşılayan en az beş farklı üreticiden sağlanan yirmi farklı kalıcı malzeme kullanılmalıdır:

- YDD ve çevresel ürün beyanları aşağıdaki gibi şartlara uyan malzemeler kredi

değerlendirmesinde 1 ürün olarak değerlendirmeye alınır.

- ISO 14044'e uygun olarak en az beşikten kapıya YDD
 - Malzemeye özel Tip III EPD: ISO 14071'e uygun olarak YDD yapılmış malzemeler, ISO 14025 ve EN 15804+A2 (2019) veya ISO 21930'a uygun olarak malzemeye özel, en az beşikten kapıya YDD
 - Üçüncü taraf sertifikasına (Tip III) sahip malzemeler, ISO 14025 ve EN 15804+A2 veya ISO 21930'a uygun olarak endüstri çapında, en az beşikten kapıya YDD
- ISO 14025 ve EN 15804+A2 veya ISO 21930'a uygun, en az bir beşikten kapıya YDD yapılmış Çevresel Ürün Beyanları
- Ürüne özel Tip III EPD, Üçüncü taraf sertifikasına (Tip III) sahip malzemeler, kredi değerlendirmesinde 1,5 ürün olarak değerlendirmeye alınır.

Seçenek 2: Gömülü karbon/ YDD optimizasyonu (1 puan)

YDD veya EPD'den ayrı bir gömülü karbon optimizasyon raporu veya eylem planı olan malzemeler kullanılabilir. Bu değerlendirme kalıcı malzemeler için yapılır. Raporlamaya ilişkin detaylar EK 2'de verilmiş olup etki kategorileri Çizelge 2.13'deki gibidir.

Eğer malzeme projenin gerçekleştirildiği sahanın 100 mil (160 km) çevresinden tedarik edilmişse (çıkarılmışsa, üretilmişse veya satın alınmışsa) yerel malzeme kapsamında değerlendirilmektedir. Bu krediden kazanılan puan hesabı yapılırken, temel maliyetin %200'ü veya malzeme sayısının iki katı olarak değerlendirilmektedir.

Bir eylem planı malzeme üreticisi tarafından geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. EN 15804 veya ISO 21930 standartları ile uyumlu malzemeye özel YDD'ye veya malzemeye özel Tip III EPD'ye dayanmalıdır.

Hammadde Temini (MR Kredi): Çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan yaşam döngüsü bilgisi bulunan ürün ve malzemelerin kullanımını teşvik etmeyi, sorumlu bir şekilde çıkarıldığı veya tedarik edildiği doğrulanan ürünleri seçtikleri için proje ekiplerini ödüllendirmeyi hedefleyen bir kredidir (USGBC 2020).

Sorumlu hammadde temini (1-2 puan)

Kalıcı olarak kullanılacak yapı malzemeleri, toplam proje maliyetinin en az %20'sine karşılık gelmeli, en az üç farklı üreticiden tedarik edilmeli, aşağıdaki sorumlu hammadde temini kriterlerinden en az birini karşılamalıdır (1 puan).

Kalıcı olarak kullanılacak yapı malzemeleri, toplam proje maliyetinin en az %40'ına karşılık gelmeli, en az beş farklı üreticiden tedarik edilmeli, aşağıdaki kriterlerinden en az birini karşılamalıdır (2 puan).

- Genişletilmiş üretici sorumluluğuna dahil olan üreticiden temin edilen malzemeler
- Ahşap dışındaki biyolojik bazlı ürünler ve malzemeler (ASTM D6866 veya ISO 16620-2 yöntemi kullanılarak test edilmeli veya USDA BioPreferred Gönüllü Etiketleme Girişimi'ne göre sertifikalandırılmalıdır.)
- Ahşap ürünler (Orman Yönetim Konseyi- Forest Stewardship Council veya USGBC onaylı eşdeğeri tarafından onaylı olmalıdır.)
- Yeniden kullanılan malzeme: yeniden kullanım kriterini sağlayan malzeme kredi kazanımı hesaplamasında maliyetinin %200'ü üzerinden değerlendirilir.
- Geri dönüştürülmüş malzeme: geri dönüşüm kriterini sağlayan malzeme kredi kazanımı hesaplamasında maliyetinin %100'ü üzerinden değerlendirilir.

Eğer malzeme projenin gerçekleştirildiği sahanın 100 mil (160 km) çevresinden tedarik edilmişse (çıkarılmışsa, üretilmişse veya satın alınmışsa) yerel malzeme kapsamında değerlendirilmektedir. Bu krediden kazanılan puan hesabı yapılırken, temel maliyetin %200'ü veya malzeme sayısının iki katı olarak değerlendirilmektedir.

Malzeme İçeriği (MR Kredi): Malzeme içeriği kredisinin amacı şu şekilde sıralanabilir; i) evresel, ekonomik ve sosyal açıdan yaşam ds bilgisi bulunan ürün ve malzemelerin kullanımını teşvik etmek; ii) Kabul edilen bir metodoloji kullanılarak kimyasal içeriklerinin envanteri çıkarılan malzemeleri, zararlı maddelerin kullanımını gerektirmeyen malzemeleri, zararlı madde açığa çıkmasını minimuma indirgeyen malzemeleri seçen proje ekibini ödüllendirmek, iii) İyileştirilmiş yaşam ds etkilerine sahip malzemeler üreten hammadde üreticilerini ödüllendirmek. İki seçenekte gerçekleştirilmektedir (USGBC 2020).

Seçenek 1: Malzeme İçeriği Raporlaması (1 puan)

Binada kalıcı olarak kullanılacak yapı malzemelerinin kimyasal içeriğini en az %0,1 oranında gösterecek şekilde, en az beş farklı üreticiden temin edilen, en az yirmi farklı malzeme için aşağıdaki programlardan birinin kullanılması gerekmektedir:

- ANSI/BIFMA e3 Mobilya Sürdürülebilirlik Standardı
- Cradle to Cradle (Beşikten Beşiğe) Sertifikası
- Declare rn etiketi
- Facts - NSF/ANSI 336 Sertifikası
- Global Green TAG etiketi
- Sağlıklı rn Beyanı (Health Product Declaration)
- Living Product Challenge etiketi
- Üretici Envanteri
- rn Lensi Sertifikası (Product Lens Certification)

Seçenek 2: Malzeme içeriği optimizasyonu (1 puan)

Malzeme içeriği optimizasyonlarını belgeleyen en az üç farklı üreticiden temin edilen kalıcı malzemeler kullanılmalıdır. Bunlar arasından şartlara uygun 10 malzeme seçilmeli veya binada kullanılacak yapı malzemelerinin toplam değerinin en az %10'una karşılık gelecek malzemeler seçilmelidir. Malzeme içeriği raporlamasına ilişkin detaylar EK 3'dedir.

Eğer malzeme projenin gerçekleştirildiği sahanın 100 mil (160 km) çevresinden tedarik edilmişse (çıkarılmışsa, üretilmişse veya satın alınmışsa) yerel malzeme kapsamında değerlendirilmektedir. Bu krediden kazanılan puan hesabı yapılırken, temel maliyetin %200'ü veya malzeme sayısının iki katı olarak değerlendirilmektedir.

İnşaat ve Yıkım Atık Yönetimi (MR Kredi): Atık önleme, malzemelerin yeniden kullanılması, geri dönüştürülmesi yoluyla depolama ve yakma tesislerine atılan inşaat ve yıkım atıklarını azaltmak amaçlanmaktadır. İki seçenekte gerçekleştirilebilmektedir (USGBC 2020).

Seçenek 1: Derivasyon (1 puan)

Toplam inşaat ve yıkım malzemelerinin en az %50'si çöp sahasına veya yakma tesisine gönderilmeden geri dönüştürülebileceği *atık yönetim planı* oluşturulmalıdır.

Seçenek 2: Atık önleme (1-2 puan)

Yeniden kullanım ve kaynak azaltma stratejileri aracılığıyla israfı önlenmeli, geri dönüşüm stratejileri uygulanmalı, projenin toplam atık üretimini belirlemek için inşaatın başlangıcından projenin tamamlanmasına kadar proje tarafından üretilen tüm malzemeler takip edilmelidir.

Yol 1: Metrekare başına 75 kg'dan daha az atık açığa çıkması sağlanmalıdır (1 puan).

Yol 2: Metrekare başına 50 kg'dan daha az atık açığa çıkması sağlanmalıdır (2 puan).

Düşük Emisyonlu Malzemeler (EQ Kredi): Hava kalitesine, insan sağlığına, üretkenliğe ve çevreye zarar verebilecek kimyasal kirletici konsantrasyonlarını azaltmak amaçlanmaktadır. Binanın içinde düşük emisyon kriterlerini karşılayan malzemeler kullanılmalıdır (1-3 puan).

Düşük emisyon kriteri iki malzeme kategorisinde sağlanırsa 1 puan, üç malzeme

kategorisinde sağlanırsa 2 puan, dört malzeme kategorisinde sağlanırsa 3 puan, beş malzeme kategorisinde sağlanırsa 3 puan + performans puanı (2 puana ulaşılmışsa 1 ek puan) kazanılmaktadır. Malzeme kategorileri, boyalar ve kaplamalar, yapıştırıcılar ve dolgular, zemin kaplamaları, duvar panelleri, tavan iç kaplamaları, yalıtım, mobilya, kompozit ahşap şeklindedir.

Zemin kaplamaları: Maliyet veya yüzey alanına göre tüm döşemelerin en az %90'ı düşük emisyonlu malzeme kriterini karşılamalıdır. Düşük emisyonlu malzeme kriteri, VOC emisyon değerlendirmesiyle veya emisyon yaymayan malzemelerin seçilmesiyle veya yeniden kullanılmış malzemeler ile karşılanmaktadır. Bu malzeme kategorisi halı, seramik, vinil, ahşap, laminant gibi her türlü yumuşak ve sert zemin kaplamasını içermektedir.

Duvar panelleri: Maliyet veya yüzey alanına göre tüm duvar panellerinin en az %75'i düşük emisyonlu malzeme kriterini karşılamalıdır. Düşük emisyonlu malzeme kriteri, VOC emisyon değerlendirmesiyle veya emisyon yaymayan malzemelerin seçilmesiyle veya yeniden kullanılmış malzemeler ile karşılanmaktadır. Duvar panelleri kategorisi tüm iç ve dış duvarlar için duvar paneli, duvar kaplaması duvar karosu gibi bütün bitirme malzemelerini, alçı ve sıva uygulamalarını kapsamaktadır.

2.7 Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Mühendislik uygulamalarında malzeme seçimi uzun bir karar sürecini gerektiren önemli bir problemdir. Dünyada seksen binden fazla malzeme olduğu tahmin edilmektedir (Jahan vd. 2010). Çok sayıda malzemenin varlığı, farklı seçim parametreleriyle bir araya geldiğinde malzeme seçimi zor bir süreç haline gelmektedir (Farag 2015). Literatürde malzeme seçimine yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Ancak bu bölümde sürdürülebilirlik stratejileri kapsamında yapı malzemesi seçimine yönelik yapılmış çalışmalara ait bilgilere yer verilmektedir.

Venkatarama Reddy ve Jagadish (2003), Hindistan'daki binaların gömülü enerjilerinin azaltılmasına yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Çimento ve çelik gibi temel yapı

malzemelerinin üretiminde harcanan enerji ile çeşitli yapı malzemelerinin nakliyesi sırasında harcanan enerji miktarları araştırılmıştır. Çalışmada geleneksel yapı malzemelerinin kullanımı ve enerji verimli alternatif yapı malzemelerinin kullanımı karşılaştırılarak, enerji verimliliği potansiyelleri belirlenmektedir.

John vd. (2005), sürdürülebilir yapı malzemesi seçiminde doğadaki sistematığın mühendislik yapılarına uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada yapı malzemesi seçiminde biyomimetik yaklaşımların benimsenmesinin sürdürülebilirliğin sağlanmasının bir yolu olduğu ifade edilmektedir.

Thormark (2006), İsveç'teki enerji verimliliği en yüksek bir konut projesini malzeme seçimi bakımından değerlendirmiştir. Çalışmada kullanılan malzemelerin, yapıyı hem gömülü enerjileri hem de geri dönüşüm potansiyelleri bakımından ne ölçüde etkilediği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, soğuk iklimlerde düşük enerjili konutlar için yaşam döngüsü enerjisi için referans değer olarak sunulmaktadır.

Mansour vd. (2007), Mısır'daki düşük gelirli konut projelerinde kullanılmak üzere sürdürülebilir ve düşük maliyetli kompozit geri dönüştürülmüş malzeme üretilmesine yönelik bir yöntem önerisinde bulunmuşlardır. Saman ve çimento içerikli bu malzeme Mısır'ın yerel şartlarında uygulanması nispeten kolay bir malzemedir. Çalışmada, malzeme hem ekonomik hem de mukavemet açısından incelenmiştir.

Dimoudi ve Tompa (2008), beton, çelik, tuğla vb. en sık kullanılan yapı malzemelerini gömülü enerji, CO₂ emisyonu ve SO₂ emisyonu açısından değerlendirmişlerdir. Değerlendirmeler, Yunanistan'daki iki ofis binasında kullanılan malzemeler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca duvarlar, kirişler, kolonlar gibi yapı bileşenleri de gömülü enerji, CO₂ ve SO₂ emisyonları bakımından değerlendirilmiştir. Çalışmada benzer nitelikteki yapılarda malzeme seçiminde bu değerlerin referans alınabileceği belirtilmektedir.

Saghafi ve Hosseini Teshnizi (2011), yapı malzemesi seçiminde malzemelerin geri dönüşüm potansiyellerini değerlendirmek ve karşılaştırmak için bir yöntem

önermişlerdir. Bu yöntemle göre, malzemenin geri dönüşüm sıklığı, geri dönüşüm sırasında eksilen miktar, inşaat yapım ve yıkım teknolojileri değişken olarak dikkate alınmaktadır. Malzemelerin karşılaştırılması, gömülü enerji ve geri dönüşüm enerjisi açısından yapılmaktadır.

Akadiri ve Olomolaiye (2012), Birleşik Krallıktaki bina ölçeğindeki projeler için sürdürülebilir yapı malzemelerinin seçimini sağlamak üzere yirmi dört değerlendirme kriteri belirlemişlerdir. Birleşik Krallıktaki yeşil bina tasarımcılarıyla yapılan anket çalışması sonrasında belirlenen kriterler faktör analizi ile altı faktörde toplanmıştır. Bu faktörler uzman görüşlerine dayanarak belirlendiği için malzeme seçiminde bu altı kriterin dikkate alınmasıyla bina ölçeğindeki projelerin sürdürülebilirliğinin sağlanabileceği ifade edilmektedir.

Bakhoun ve Brown (2012), sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi için on kriter belirlemiştir. Malzemenin yaşam döngüsü içerisinde bu kriterlerden altı tanesi çevresel, beş tanesi ekonomik, üç tanesi sosyal, iki tanesi teknoloji beklentileriyle ilişkilendirilmiştir. Çalışmada bu kriterlere bağlı olarak malzemenin yaşam döngüsü için sürdürülebilirlik puanlama sistemi geliştirilmiştir.

Li vd. (2012), yeşil yapı malzemesi seçiminde Çin'in yerel koşullarını dikkate almışlardır. Yeşil yapı malzemesinin girdi göstergeleri olarak hammadde, maliyet, koruma önlemleri, yapım teknolojileri; çıktı göstergeleri olarak enerji verimliliği etkileri, maddi kazançlar ve sosyal faydalar dikkate alınmıştır. Girdi ve çıktılar veri zarflama yöntemi ile derecelendirilerek yeşil yapı malzemeleri değerlendirilmektedir.

Özdemir (2012), LEED ve BREEAM yeşil bina derecelendirme sistemlerinin Türkiye'de uygulanmasına yönelik gerçekleştirdiği çalışmada bu sistemlerin malzeme ile ilgili kredileri üzerinde durmuştur. Çalışmada bu sistemlerin malzeme kredilerinin Türkiye'de uygulanabilirliği araştırılmış ve yerel şartlardan kaynaklanan farklılıklar için uygulama önerileri geliştirilmiştir.

Yang ve Ogunkah (2013), düşük maliyetli yeşil yapı malzemesi seçimi için çok kriterli

karar destek sistemi önermişlerdir. Önerilen model AHP tabanlı olup bina ölçeğindeki projeler için farklı türdeki yeşil malzemelerin niteliklerini ve performans özelliklerini içeren bir veri tabanı niteliğindedir. Çalışma kapsamında düşük maliyetli yeşil malzeme seçimi uygulama ile gösterilmektedir.

Florez ve Castro-Lacouture (2013), sürdürülebilir malzeme seçiminde nesnel ve öznel faktörleri birlikte değerlendiren bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Nesnel faktörler olarak LEED kapsamındaki tasarım kısıtları, bütçe kısıtları, kazanılan puan sayısı dikkate alınırken, öznel faktörler olarak da kullanıcı algıları dikkate alınmıştır. Öznel faktörlerin belirlenmesinde anket çalışması yürütülmüş bu faktörlerin etkilerinin belirlenmesinde faktör analizi kullanılmıştır. Daha sonra öznel ve nesnel faktörleri bir araya getirerek karar vermeyi sağlamak için sürdürülebilirlik puanlarının hesaplanmasında önerilen optimizasyon modelinden yararlanılmaktadır.

Akadiri vd. (2013), bulanık genişletilmiş AHP'ye dayanan yapı malzemesi seçim modeli önermiştir. Bu çalışma kapsamında yapı malzemelerinin sürdürülebilirlik değerlendirme kriterleri çevresel kriterler, sosyal-ekonomik kriterler, teknik kriterler olarak üç gruba ayrılmıştır. Bunlardan on bir tanesi çevresel, yedi tanesi sosyal-ekonomik, altı tanesi teknik kriterdir. Bu yirmi dört kriter altı faktöre indirgenerek, faktörlerin önem ağırlıklarının atanmasında genişletilmiş AHP'den yararlanılmıştır. Önerilen yaklaşım üç farklı çatı malzemesi ile test edilmiştir.

Marzouk vd. (2013), tarafından önerilen modelde önceden belirlenmiş kabul edilebilir maliyet sınırlaması kapsamında LEED yeşil bina derecelendirme sisteminden en fazla puan getirisi sağlayacak malzemenin seçilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, maliyet sınırlamasında sistem dinamikleri yaklaşımı, malzeme seçiminde ise karıca kolonisi optimizasyonu kullanılmıştır. Önerilen model, Mısır'da temin edilebilecek yapı malzemeleri ile test edilmiştir.

Engin vd. (2013), üretim süreçlerinde CO₂ emisyonlarının azaltılması, doğal kaynakların verimli kullanılması ve fosil yakıt tüketiminin azaltılması bağlamında sürdürülebilir çimento üretimini alternatif hammadde kullanımı, alternatif yakıt kullanımı, enerji

verimliliği ve klinker kullanım oranının düşürülmesi açısından incelemişlerdir. Çalışmada, incelenen kriterler bakımından Türkiye'nin mevcut durumu tartışılmaktadır.

Giesekam vd. (2014), Birleşik Krallıkta inşaat sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarını belirlemeye yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre sektörden kaynaklanan küresel sera gazı emisyonları büyük oranda karbon-yoğun malzeme temin süreçlerinden kaynaklanmaktadır. 2050 yılı karbon nötr hedeflerine ulaşmada malzeme kullanımına yönelik alternatif malzeme kullanılması, geleneksel olmayan malzemelerin üretim süreçlerine dahil edilmesi, gereksiz malzeme kullanımını azaltmak için uygun tasarım süreçlerinin ve teknolojinin kullanılması, geri dönüşüm ve yeniden kullanım, mevcut yapıların iyileştirilmesi yoluyla yeni yapılara duyulan ihtiyacın azaltılması şeklinde beş strateji sunulmaktadır. Çalışma, belirlenen bu stratejilere ait bir dizi örnek içermektedir.

Alptekin (2014), yapı malzemesi seçiminde malzeme alternatiflerini ve farklı ölçütleri kıyaslayarak sıralayan çok kriterli karar verme tabanlı bir model geliştirmiştir. Çalışmada on bir tane çevresel etki kategorisi değerlendirilmiştir. Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırılmasında TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) yöntemi, öncelik belirlemede ise faktör analizi kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında, yedi adet malzemenin on bir adet çevresel etki kategorisine ait etkilerinin kıyaslaması yapılmıştır.

Müller vd. (2014), yapılarda kullanılan betonun performansını artırmak ve çevresel etkisini azaltmak için yeşil beton tasarımına ilişkin tasarım ilkeleri oluşturmuşlardır. Çalışma kapsamında çevresel etki değerlendirmesinde, fosil yakıt kullanımına bağlı kümülatif enerji gereksinimi, yenilenebilir enerji kullanımına bağlı kümülatif enerji gereksinimi, küresel ısınma potansiyeli, ozon tabakasının incilmesi potansiyeli, asitleşme potansiyeli, besin birikimi potansiyeli, fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli etki kategorilerine göre değerlendirme yapılmaktadır.

Samani vd. (2015) tarafından prefabrik yapılarda kullanılan sürdürülebilir duvar panellerinin karşılaştırılmasında ve en iyi malzeme alternatifine karar vermede çok kriterli

karar verme yaklaşımlarından PROMETHEE II (Preference Ranking Organizational Method for Enrichment Evaluation) kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen değerler tipik bir tuğla yapı ile karşılaştırılarak önerilen çözümün üstünlükleri ortaya koyulmuştur.

Cuadrado vd. (2015), sürdürülebilir malzeme kullanımı kapsamında ahşap yapılar için çevresel sürdürülebilirlik indeksi (ESI-TS) hesaplamaya yönelik bir metodoloji geliştirmişlerdir. ESI-TS metodu ile ahşap yapıların kullanımını teşvik etmek hedeflenmektedir. Çalışma, yapı malzemelerinin karşılaştırılmasını içermemektedir.

Bissoli-Dalvi vd. (2016), Brezilya’da konut ölçeğindeki projelerde en çok kullanılan pencere malzemelerinin sürdürülebilirlik indekslerini belirlemeye yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışma kapsamında pencere malzemesi olarak kullanılan veya kullanılma potansiyeli bulunan yirmi üç adet malzemenin sürdürülebilirlik indekslerinin belirlenmesinde ISMAS (Instrument for the Selection of More Sustainable Materials- Daha Sürdürülebilir Malzeme Seçimi için Araç) aracı kullanılmıştır. Hesaplanan sürdürülebilirlik indeksi doğrultusunda malzeme seçimi gerçekleştirilebileceği ifade edilmektedir.

Napolano vd. (2016), betonda agrega kullanımına bağlı olarak açığa çıkan çevresel sorunlara çözüm amacıyla geri dönüştürülmüş atıkların yapay hafif agrega üretiminde kullanımı için YDD çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, farklı yapay hafif agregalarla üretilen hafif betonların çevresel etkileri YDD yaklaşımı ile analiz edilmektedir.

Govindan vd. (2016), Birleşik Arap Emirlikleri’nin yerel faktörlerini dikkate alarak hibrit çok kriterli karar verme metodolojisine dayanan bir yapı malzemesi seçim modeli önermişlerdir. Bu kapsamda çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik kriterleri arasındaki ilişkileri analiz etmek için DEMATEL (Decision Making Trail and Evaluation Laboratory) ve ANP (Analytical Network Process, Analitik Ağ Süreci) tekniklerinden yararlanılmıştır. Sonuçlar TOPSIS sistemi ile birleştirilerek yapı malzemesi seçimi gerçekleştirilmiştir.

Estokova vd. (2017), Orta Avrupa'daki konutların ortalama çevresel etkilerini temsilen yirmi adet konutta kullanılan yapı malzemelerini gömülü enerji, küresel ısınma ve asitleşme potansiyellerini YDD yaklaşımı ile değerlendirmişlerdir. Temel malzemeleri, taşıyıcı duvar malzemeleri, bölme duvar malzemeleri, döşeme malzemeleri, çatı malzemeleri, ısı yalıtım malzemeleri, bitirme malzemeleri, kapı ve pencere malzemeleri gömülü enerji, küresel ısınma ve asitleşme potansiyelleri bakımından değerlendirilmiştir. Dikkate alınan çevresel etkiler bakımından taşıyıcı duvar, ısı yalıtımı ve bitirme malzemelerinin en yüksek çevresel etkiyi yarattığı ortaya çıkmıştır.

Karaman Öztaş ve Tanaçan (2017) çalışmalarında yapı malzemesi seçiminde YDED-TR adını verdikleri yaşam döngüsü etki değerlendirme modeli önermişlerdir. Bu model YDD'nin üçüncü aşaması olan etki değerlendirme aşamasını temel almaktadır. Çalışmada on bir adet çevresel etki kategorisi dikkate alınmıştır. Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklarının belirlenmesinde akademisyenler, devlet kurumları ve yapı malzemesi sektöründe çalışan çevre uzmanları ile anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen modelin uygulaması geliştirilmiş polistren köpük (EPS) malzemesi için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar SimaPro YDD aracıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Marzouk ve Azab (2017), kamu destekli düşük gelirli konut projelerinde kullanılacak malzemelerin çevresel ve ekonomik performanslarının değerlendirildiği bir metodoloji önermişlerdir. Bu kapsamda ekonomik performans değerlendirmesinde yaşam döngüsü maliyeti yaklaşımı kullanılırken, çevresel performans değerlendirmesinde LEED derecelendirme sisteminde maksimum puan getirisi sağlayacak malzemenin seçilmesi amaçlanmıştır. Önerilen yaklaşım STELLA yazılımı ve sistem dinamikleri yaklaşımının kombinasyonunu içermektedir. Çalışmanın sınanması, Mısır'daki düşük gelirli konut projeleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Güner vd. (2017), dünyanın farklı yerlerinde inşa edilmiş yirmi adet sürdürülebilir yapıyı kullanılan yapı malzemeleri açısından incelemişlerdir. İncelenen yapılarda kullanılan malzemeler yatay strüktür malzemeleri (duvar, kiriş, kolon, döşeme, çatı iskeleti), detay malzemeleri (doğrama, zemin kaplama, duvar kaplama, çatı kaplama, tavan kaplama) ve

koruyucu malzemeler (ısı yalıtım, su yalıtım, ses yalıtım) şeklinde gruplandırılarak, bu malzemelerin sürdürülebilir yapı tasarımında tercih edilme nedenleri araştırılmıştır. Tespit edilen malzemeler, niteliklerine göre, atık yönetimine göre, ortam şartlarına uyum göstermelerine göre sınıflandırılarak bağl etkileri belirlenmiştir.

Mahmoudkelaye vd. (2018), sürdürülebilir yapı malzemesi seçiminde YDD yaklaşımını kullanmışlardır. Bu doğrultuda seçim kriterleri ekonomik, teknik, sosyo-kültürel ve çevresel faktörler olmak üzere dört ana gruba ayrılmıştır. Her bir ana kriter için alt kriterler belirlenmiş, ana kriterler ile alt kriterler ANP tekniği kullanılarak ilişkilendirilmiştir. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde uzman görüşlerine başvurulmuştur. Tuğla, alüminyum dış cephe kaplaması ve sedir kaplama için test edilen modelde alüminyum dış cephe kaplaması sürdürülebilirlik performansı en yüksek malzeme olarak belirlenmiştir.

Khoshnava vd. (2018), sürdürülebilirliğin üç sacayağı çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarına göre yeşil yapı malzemelerinin sıralanması esasına dayanan hibrit çok kriterli karar verme modeli önermişlerdir. Çalışmada sürdürülebilirlik kriterleri arasındaki ilişkinin belirlenmesinde DETAMEL, sıralamada ise bulanık ANP kullanılmıştır. Sonuç olarak yeşil yapı malzemesi ile sürdürülebilirlik kriterleri arasındaki ilişkinin sürdürülebilirlik boyutlarına göre farklılık gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Streimikiene vd. (2020), binalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin sürdürülebilirlik değerlendirmesini yapmışlardır. Bu kapsamda çok kriterli karar verme sürecinde TOPSIS yönteminden yararlanılmıştır. Dokuz farklı yalıtım malzemesinin değerlendirildiği çalışmada, malzemeler farklı ağırlık setleri kullanılarak sıralanmıştır.

Marzouk (2020), sürdürülebilir malzeme seçimi için bulanık Monte Carlo simülasyonu tabanlı bir optimizasyon modeli önermektedir. Bu modelin amacı LEED malzeme kredilerinden en yüksek puan getirisi sağlanırken birim maliyeti en az olan malzemenin seçilmesinin sağlanmasıdır. Çalışma, ele alınan malzeme grupları bakımından Mısır'da inşa edilmiş bir bina için örnek uygulama ile sınanmıştır.

Chen vd. (2021), sürdürülebilir yapı malzemesi seçiminde entegre edilmiş çok kriterli karar verme çerçevesi önermişlerdir. Uyguladıkları yaklaşım çerçevesi bir dizi çok kriterli karar verme yönteminin bir arada kullanılmasına dayanmaktadır. Bu yaklaşım ile ele alınan kriterlerin ağırlıkları belirlenirken farklı grupların öznel görüşlerinin güvenilir bir şekilde bir araya getirilmesi hedeflenmiştir.

Aghazadeh ve Yildirim (2021), malzeme seçimini etkileyen ana kriterleri teknik, ekonomik, çevresel, sosyo-kültürel ve şantiye alanı ve diğerleri şeklinde belirlemişlerdir. Bu beş ana kriter için toplamda altmış iki adet alt kriter belirlenmiştir. Alt kriterlerin göreceli önemlerinin belirlenmesinde işveren, danışman, yüklenici ve tedarikçi gibi paydaşların görüşleri alınmıştır. Kendall Korelasyon Testi ile alt kriterlerin öncelik değerlerinin belirlendiği çalışmada sürdürülebilir yapı malzemesi seçiminde katılımcı grupların algı düzeylerinin ekili olduğu belirtilmektedir.

Sahlol vd. (2021), yapı malzemelerini depolanan atık miktarı, geri dönüştürülebilen atık miktarı, yaşam döngüsü maliyeti, sağlık ve güvenlik parametrelerine göre değerlendiren bir model önermektedirler. Çalışmada yapı malzemelerinin değerlendirilebilmesi için bu parametreler arasındaki ilişki sistem dinamiği ile modellenmiştir. Değerlendirme parametrelerine bağlı olarak en sürdürülebilir yapı malzemesini seçmek için AHP yaklaşımından yararlanılmaktadır. Çalışmada yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin sürdürülebilirlik performansları değerlendirilmektedir.

Uygunoğlu vd. (2021) çalışmalarında, çimento esaslı yapı malzemelerinin üretimi esnasında çevresel etkilerin azaltılmasında YDD yaklaşımının kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada, çimento esaslı malzemelerin üretim süreçlerinde, fosil yakıt tüketimi, yenilenemeyen enerji kullanımı, doğal kaynak kullanımı, insan sağlığı ve küresel ısınma gibi etkilerin azaltılmasında YDD'nin en etkili yöntemlerden biri olduğunu ifade edilmektedir.

Patil vd. (2022), yeşil binalarda akıllı malzemelerin seçiminde yapı bilgi modellemesinden (building information model, BIM) yararlanmışlardır. Hindistan için gerçekleştirilen bu çalışmada yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri dışındaki

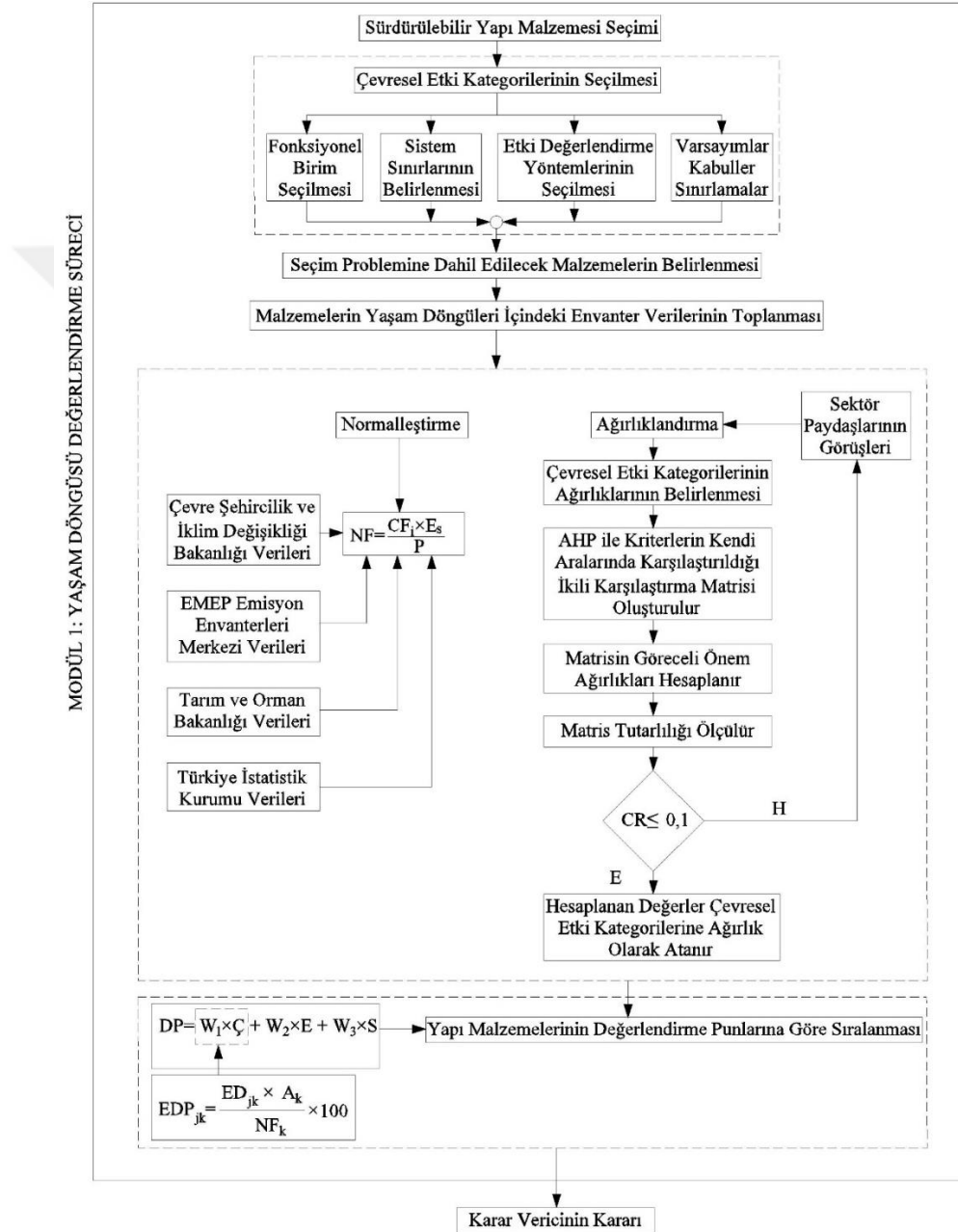
birtakım malzemeler değerlendirme kapsamında tutulmuştur. Örneğin şeker kamışı, pirinç kabuğu gibi sürdürülebilirlik potansiyeli olan yerel ölçekli malzemelerin Hindistan için düşük maliyetli ve uzun ömürlü olmalarından dolayı ülkedeki yeşil binalarda kullanılabilirliği üzerine senaryolar önerilmektedir.

Soni vd. (2022) tarafından katı atıkların geri dönüştürülmesi yoluyla elde edilen yapı malzemelerinin üretim süreci, özellikleri, avantajları dezavantajları üzerine kapsamlı bir literatür araştırması gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre katı atıklar, uygun devlet politikaları kapsamında geri dönüştürülerek yapı malzemesi olarak kullanıldığında doğal kaynak kullanımını önemli ölçüde azaltabilecektir.

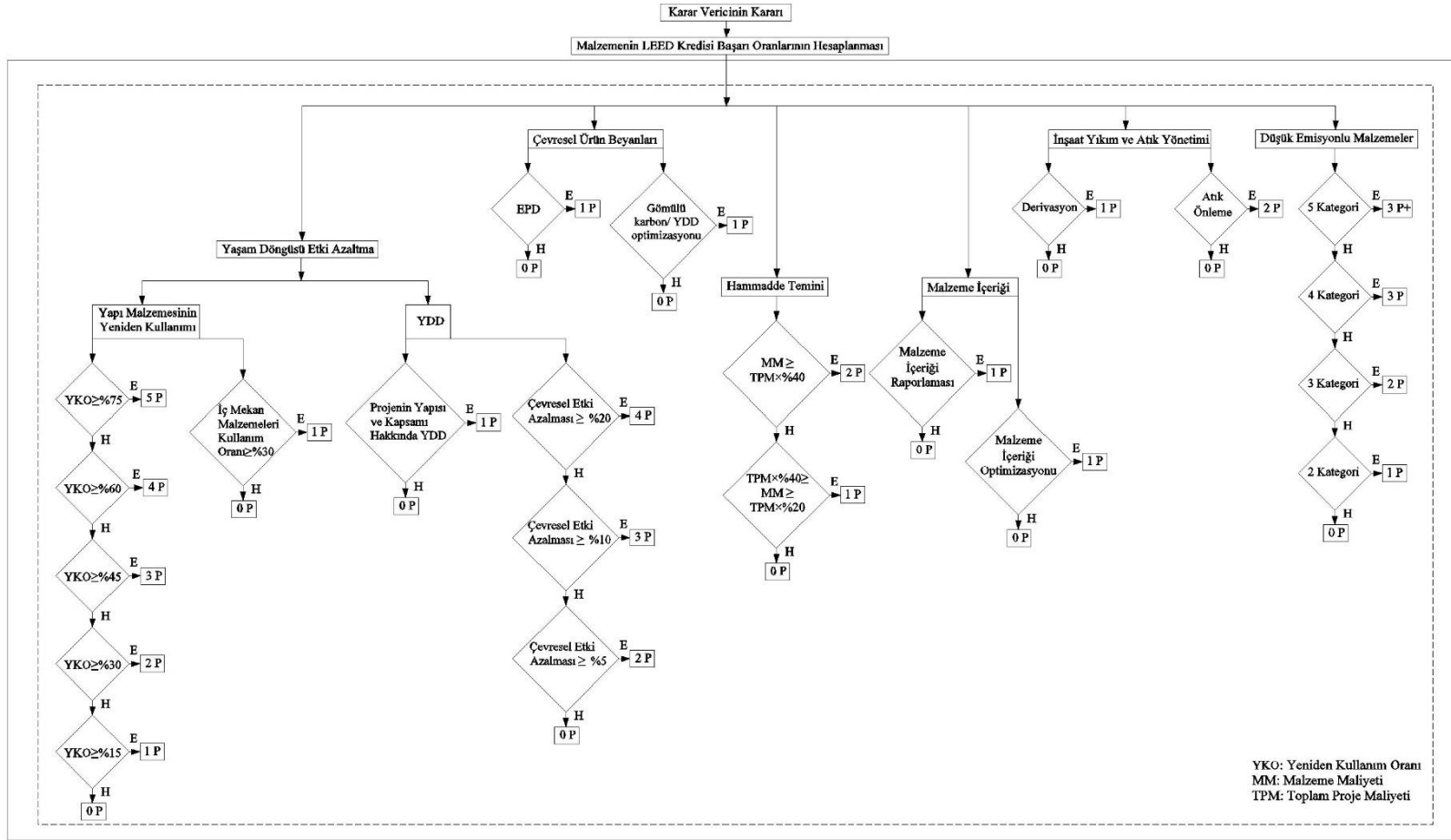
Jolanta ve Elzbieta (2022), AB doğal koruma ağı Natura 2000 alanlarında uygulanacak inşaat projelerine malzeme seçimi için bir kontrol listesi geliştirmişlerdir. Çalışmada sürdürülebilir yapı malzemelerinin belirlenmesine yönelik bir dizi uzman kişilerle anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen kontrol listesindeki kriterlerin birbirlerine göre göreceli önemleri belirlenmiştir. Bu liste aracılığıyla Natura 2000 alanı içerisinde uygulanacak projeler için sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi gerçekleştirilebilecektir.

3. MATERYAL ve METOT

Çalışmanın amaçları doğrultusunda, yeşil bina sertifikası almayı hedefleyen yapılar için yapı malzemesi seçiminde çevresel performans odaklı bir yaklaşım önerilmektedir. Uygulama süreci Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi ve LEED uygunluk kontrol süreci.



Şekil 3.1 (Devam) Sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi ve LEED uygunluk kontrol süreci.

Şekil 3.1’de görülen süreç iki modülden oluşmaktadır. Birinci modülde, seçim problemine dahil edilen yapı malzemeleri çevresel performansları bakımından kendi aralarında değerlendirilmekte ve değerlendirme puanlarına göre sıralanmaktadır. İkinci modülde, karar vericinin seçtiği malzemenin LEED yeşil bina derecelendirme sistemine uygunluğu kontrol edilmekte ve puan kazanımının ön değerlendirmesi yapılmaktadır.

3.1 Materyal

YDD süreci uygulanarak değerlendirme puanları hesaplanmak istenen malzemeler çalışma kapsamında iki grupta ele alınmıştır. Çalışmanın kurgusu aşamasında beş farklı malzeme grubu için süreç planlanmıştır. Ancak uygulamada konu ile ilgili sektör paydaşlarıyla iletişim sağlama güçlüğü yaşanmıştır. Ayrıca yararlanılan BEES Online yazılımı üst sürüme taşınırken önceki versiyonundaki bilgileri veri tabanından kaldırmıştır. Karşılaşılan bu olumsuzluklar çalışmayı sınırlandırmayı gerektirmiştir.

Değerlendirilen yapı malzemesi grupları, zemin (yer) kaplamaları ve dış cephe kaplama malzemeleri şeklinde iki gruba ayrılmıştır. Seçim probleminde değerlendirilecek malzemelere, yeşil bina danışmanları ile yapılan görüşmelerden yararlanılarak karar verilmiştir. Değerlendirilen yapı malzemeleri genel isimlendirmelerine göre Çizelge 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Çalışmada değerlendirilen yapı malzemeleri.

Malzeme Grubu	Malzeme Adı
GRUP 1: Zemin kaplama malzemeleri	Seramik Karo (GKİ)
	Mermer Karo
	Terazzo Karo
	Seramik Karo
GRUP 2: Dış cephe kaplama malzemeleri	Tuğla Dış Cephe Kaplama
	Yalıtımlı Dış Cephe Kaplaması
	Siding Dış Cephe Kaplama
GKİ: Geri kazanılmış içerikli	

Hesaplamalarda her bir malzemenin fonksiyonel birimi esas alınmıştır.

3.2 Metot

Yapı malzemelerinde YDD uygulanması ve LEED yeşil bina derecelendirme sistemi kredi başarı oranlarının hesaplanması süreci kapsamında çalışmada yararlanılan yöntemlere ilişkin bilgiler aşağıda açıklanmaktadır.

3.2.1 Yapı Malzemelerinde YDD'nin Amaç ve Kapsam Tanımı Aşaması

Bu çalışmada uygulanan YDD'nin amacı, yapı malzemesi alternatiflerinin çevresel performanslarını dikkate alarak değerlendirme puanı hesaplamaktır.

Herhangi bir YDD'nin kapsam belirleme aşaması, incelenen ürün sisteminin sınırlarını tanımlamakla başlamaktadır. Bu çalışma kapsamında da sistem sınırı olarak beşikten mezara yaklaşımı sistem sınırı olarak seçilmiştir.

3.2.2 Yapı Malzemelerinde YDD'nin Envanter Analizi Aşaması

Türkiye'de üretilen yapı malzemelerinin envanter verilerinin paylaşıldığı herhangi bir sistem veya veri tabanı bulunmadığından, çalışmada değerlendirilen yapı malzemelerinin birim süreçlerine ait envanter verileri BEES Online veri tabanından alınmıştır.

3.2.3 Yapı Malzemelerinde YDD'nin Etki Değerlendirmesi Aşaması

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi bu çalışma kapsamında yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi yapılırken on iki adet çevresel etki kategorisi dikkate alınmıştır.

Sektör paydaşlarıyla gerçekleştirilen görüşmelerde, bu çalışmada değerlendirilen çevresel etki kategorilerine ek olarak, Türkiye şartlarında dikkate alınması gereken çevresel etki kategorilerinin var olup olmadığı sorulmuştur. Ancak görüşmelerde ek bir çevresel etki kategorisi belirtilmemiştir.

Çevresel etki kategorilerinin karakterizasyonlarının yapılmasında kullanılmak üzere etki değerlendirmesi yaklaşımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, küresel ısınma çevresel etki kategorisinin dönüşümünde IPCC100 yıllık modeli; asitleşme, ötrofikasyon, fosil yakıt tüketimi, yaşam alanı değişikliği, hava kirliliği, insan sağlığı, fotokimyasal sis oluşumu, ozon tabakasının incilmesi ve ekolojik zehirlilik çevresel etki kategorilerinin dönüşümünde çevresel problemler yaklaşımı; su tüketimi, iç mekan hava kalitesi çevresel etki kategorisinin dönüşümünde ise envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımını kullanılmıştır.

3.2.3.1 Emisyon Faktörlerinin Seçilmesi ve Çevresel Etki Kategorilerinin Karakterize Edilmesi Yöntemi

Çalışma kapsamında dikkate alınan on iki adet çevresel etki kategorisinin etki değerlendirmesi yaklaşımları kapsamında karakterize edilebilmesi için seçilen emisyon faktörleri aşağıda verilmiştir.

Asitleşme Potansiyeli

Çizelge 3.2’de verilen emisyon faktörleri kullanılarak, her fonksiyonel birim başına, asitleşme referans maddesi olan H⁺ cinsinden asitleşme indeksi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (Lippiatt 2007).

$$Asitleşme\ indeks i = \sum_i m_i \times AP_i \quad (3.1)$$

Burada m_i, i envanter akışının gram olarak kütlesini; AP_i, i envanter akışının fonksiyonel biriminin asitleştirme etkisinin hidrojen iyonu cinsinden ifadesini göstermektedir.

Çizelge 3.2 Asitleşme potansiyeli emisyon faktörleri.

Akış (i)	AP _i (H ⁺ Eşdeğeri)
NH ₃	95,49
HCl	44,70
Hidrojen Siyanür (HCN)	60,40
Hidrojen Florid (HF)	81,26
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	95,90
Azot Oksitler (NO _x)	40,04
SO _x	50,79
H ₂ SO ₄	33,30

Ekolojik Zehirlilik Potansiyeli

Ekolojik zehirlilik etki kategorisinin referans maddesi 2,4-diklorofenoksi-asetik asittir (2,4-D). Çizelge 3.3'te emisyon faktörleri verilmiştir. Çizelge 3.3'teki emisyon faktörleri aracılığıyla fonksiyonel birim başına gram cinsinden ekolojik zehirlilik indeksi aşağıdaki eşitlik aracılığıyla hesaplanmıştır (Lippiatt 2007).

$$Ekolojik\ zehirlilik\ indeksi = \sum_i m_i \times ETP_i \quad (3.2)$$

Burada m_i , i envanter akışının gram olarak kütesini; ETP_i , i envanter akışının fonksiyonel biriminin ekolojik zehirlilik etkisinin 2,4-D eşdeğeri cinsinden ifadesini göstermektedir.

Çizelge 3.3 Ekolojik zehirlilik potansiyeli emisyon faktörleri.

Akış (i)	ETP _i (2,4 D Eşdeğeri)
(h) Dioksinler (belirsiz)	2 486 822, 73
(h) Cıva (Hg)	118 758, 09
(h) Benzo (g, h, i) Perilen (C ₂₂ H ₁₂)	4948, 81
(h) Kadmiyum (Cd)	689, 74
(h) Benzo (a) antrasen	412, 83
(h) Krom (Cr VI)	203, 67
(s) Naftalin (C ₁₀ H ₈)	179, 80
(h) Vanadyum (V)	130, 37
(h) Benzo (a) piren (C ₂₀ H ₁₂)	109, 99
(h) Berilyum (Be)	106, 56
(h) Arsenik (As)	101, 32
(h) Bakır (Cu)	89, 46
(s) V ³⁺ , V ⁵⁺	81, 82
(h) Nikel (Ni)	64, 34
(s) Cıva (Hg ⁺ , Hg ⁺⁺)	58, 82
(h) Kobalt (Co)	49, 45
(h) Selenyum (Se)	35, 07
(h) Flööranten	29, 47
(s) Cu ⁺ , Cu ⁺⁺	26, 93
(s) Cu ⁺ , Cu ⁺⁺	26, 93
(h) Cr III, Cr VI	24, 54
(s) Cd ⁺⁺	22, 79
(s) Formaldehid (CH ₂ O)	22, 62
(h) Çinko (Zn)	18, 89
(s) Be	16, 55
(h) Pb	12, 32
(h): havaya salımlar	
(s): suya salımlar	

Fosil Yakıt Tüketimi Potansiyeli

Fosil yakıt tüketimi etkisi, fonksiyonel birim başına harcanan enerjiyi referans almaktadır.

Emisyon faktörleri Çizelge 3.4’te verilmiştir. Emisyon faktörleri kullanılarak fonksiyonel birim başına megajoule (MJ) olarak fosil yakıt tüketimi indeksi aşağıdaki eşitlik aracılığıyla hesaplanmıştır (Lippiatt 2007).

$$Fosil\ yakıt\ tüketim\ indeksi = \sum_i c_i \times FP_i \quad (3.3)$$

Burada c_i , i fosil yakıtının kilogram olarak tüketimini; FP_i , i fosil yakıt tüketiminin kilogramı başına MJ değerini göstermektedir.

Çizelge 3.4 Fosil yakıt tüketim potansiyeli emisyon faktörleri.

Akış (i)	FP _i (MJ/kg)
Kömür	0,25
Doğalgaz	7,80
Petrol	6,12

Fotokimyasal Sis Oluşum Potansiyeli

Fotokimyasal sis oluşumu emisyon faktörleri Çizelge 3.5’te görülmektedir. Referans maddesi NO_x’tir. Fotokimyasal sis oluşum potansiyeli indeksi aşağıdaki eşitlik aracılığıyla hesaplanmıştır (Lippiatt 2007).

$$Fotokimyasal\ sis\ oluşumu\ indeksi = \sum_i m_i \times SP_i \quad (3.4)$$

Burada m_i , i envanter akışının gram olarak miktarını; SP_i , i envanter akışının fonksiyonel biriminin NO_x cinsinden ifadesini göstermektedir.

Çizelge 3.5 Fotokimyasal sis oluşumu potansiyeli emisyon faktörleri.

Akış (i)	SP _i (NO _x Eşdeğeri)
Furan (C ₄ H ₄ O)	3,54
Bütadien (1,3-CH ₂ CHCHCH ₂)	3,23
Propan (CH ₃ CH ₂ CH ₃)	3,07
Ksilen (m-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	2,73
Büten (1-CH ₃ CH ₂ CHCH ₂)	2,66
Krotonaldehid (C ₄ H ₆ O)	2,49
CH ₂ O	2,25
Propiyonaldehit (CH ₃ CH ₂ CHO)	2,05
Akrolein (CH ₂ CHCHO)	1,99
Ksilen (o-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	1,93
Ksilen (C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	1,92
Trimetil Benzen (1,2,4-C ₆ H ₃ (CH ₃) ₃)	1,85
Asetaldehit (CH ₃ CHO)	1,79
Aldehit (belirtilmemiş)	1,79
Butiraldehit (CH ₃ CH ₂ CH ₂ CHO)	1,74
İzobütraldehid ((CH ₃) ₂ CHCHO)	1,74
Etilen Glikol (HOCH ₂ CH ₂ OH)	1,40
Asenaften (C ₁₂ H ₁₀)	1,30
Asenaftilen (C ₁₂ H ₈)	1,30
Heksanal (C ₆ H ₁₂ O)	1,25
Azot Oksitler (NO _x)	1,24
Glikol Eter (belirtilmemiş)	1,11
Metil Naftalin (2-C ₁₁ H ₁₀)	1,10
Ksilen (p-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	1,09
Toluen (C ₆ H ₅ CH ₃)	1,03

Hava Kirliliği

Hava kirliliği etkisi, engelliliğe göre ayarlanmış yaşam yılı (disability-adjusted life years-DALYs) referansı ile ifade edilmektedir. DALY ölçütüne ilişkin detaylar EK 4'te verilmiştir.

Emisyon faktörleri Çizelge 3.6'da görülmektedir. Hava kirliliği indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (Lippiatt 2007).

$$\text{Hava kirliliği indeksi} = \sum_i m_i \times CP_i \quad (3.5)$$

Burada m_i , i envanter akışının gram olarak miktarını; CP_i , i envanter akışının fonksiyonel biriminin hava kirliliği etkisinin mikroDALY olarak ifadesini göstermektedir.

Çizelge 3.6 Hava kirliliği emisyon faktörleri.

Akış (i)	CP _i (mikroDALYs/g)
NO _x	0,002
>PM10	0,046
<=PM10	0,083
PM(belirtilmemiş)	0,046
SO _x	0,014

İç Mekan Hava Kalitesi

İç mekan hava kirliliği için emisyon faktörleri bulunmasına rağmen bu konuda bilimsel fikir birliği azdır. Bu nedenle bir malzemenin toplam VOC emisyonları genellikle iç mekan hava kalitesinin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

İnsan Sağlığı

TRACI insan sağlığının kansere neden olan etkilerini benzen (C₆H₆) eşdeğerleri cinsinden, kanser dışı etkilerini ise metil benzen (C₇H₈) eşdeğerleri cinsinden ölçmektedir. Daha sonra bu etkiler birleştirilerek C₇H₈ eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir.

Referans maddelerinin denkliğini sağlayabilmek için 21 000 kg C₇H₈ ile 1 kg C₆H₆ eşit sayılmaktadır. Emisyon faktörleri Çizelge 3.7’de görülmektedir.

İnsan sağlığı indeksi aşağıdaki eşitlik aracılığıyla hesaplanmıştır (Lippiatt 2007).

$$\text{İnsan sağlığı indeksi} = \sum_i m_i \times HP_i \quad (3.6)$$

Burada m_i , i envanter akışının gram olarak kütlesini, HP_i ise i envanter akışının fonksiyonel biriminin insan sağlığı etkisinin C_7H_8 eşdeğeri cinsinden ifadesini göstermektedir.

Çizelge 3.7 İnsan sağlığı emisyon faktörleri.

Akış (i)	HP _i (C ₇ H ₈ Eşdeğeri)
Kansere neden olan (h) Dioksinler (belirsiz)	38 292 661 685 580
Kansere neden olmayan (h) Dioksinler (belirsiz)	2 286 396 218 965
Kansere neden olan (h) Dietanolamin (C ₄ H ₁₁ O ₂ N)	2 532 000 000
Kansere neden olan (h) Arsenik (As)	69 948 708
Kansere neden olan (h) Benzo (a) Piren (C ₂₀ H ₁₂)	34 210 977
Kansere neden olmayan (h) Cıva (Hg)	19 255 160
Kansere neden olmayan (s) Cıva (Hg ⁺ , Hg ⁺⁺)	18 917 511
Kansere neden olan (h) Karbon Tetraklorür (CCl ₄)	17 344 285
Kansere neden olan (s) Arsenik (As ³⁺ , As ⁵⁺)	17 210 446
Kansere neden olan (s) CCl ₄	16 483 833
Kansere neden olan (h) Benzo (k) floranten	12 333 565
Kansere neden olan (s) Heksakloroetan (C ₂ Cl ₆)	8 415 642
Kansere neden olan (s) Fenol (C ₆ H ₅ OH)	8 018 000
Kansere neden olmayan (h) Cd	4 950 421
Kansere neden olan (h) Trikloropropan (1, 2, 3- C ₂ H ₅ Cl ₃)	3 587 000
Kansere neden olan (h) Cr III, Cr VI	3 530 974
Kansere neden olan (h) Dimetil Sülfat (C ₂ H ₆ O ₄ S)	2 976 375
Kansere neden olan (h) Cd	1 759 294
Kansere neden olan (h) Indeno (1, 2, 3, c, d) Piren	1 730 811
Kansere neden olmayan (h) Pb	1 501 293
Kansere neden olan (h) Dibenzo (a, h) antrasen	1 419 586
Kansere neden olan (h) Benzo (b) floranten	1 356 632
Kansere neden olan (h) Benzo (bjk) floranten	1 356 632
Kansere neden olan (h) Pb	748 316
Kansere neden olan (h) Asetaldehit (C ₂ H ₄ O)	650 701
(h): havaya salımlar	
(s): suya salımlar	

Küresel Isınma Potansiyeli

YDD yöntemleri genellikle 100 yıllık zaman dilimine karşılık gelen küresel ısınma potansiyeli değerlerini kullanmaktadır. Emisyon faktörleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Küresel ısınma indeksi aşağıdaki eşitlik aracılığıyla hesaplanmıştır (Lippiatt 2007).

$$\text{Küresel ısınma indeksi} = \sum_i m_i \times GWP_i \quad (3.7)$$

Burada m_i , i envanter akışının gram olarak kütlesini; GWP_i , i envanter akışının fonksiyonel biriminin karbondioksit cinsinden 100 yıllık ısı tutma potansiyelini göstermektedir.

Çizelge 3.8 Küresel ısınma potansiyeli emisyon faktörleri.

Akış (i)	GWPI (CO ₂ Eşdeğeri)
CO ₂ , net	1
CCl ₄	1 800
Tetraflorometan (CF ₄)	5 700
Diklorodiflorometan- CFC 12 (CCl ₂ F ₂)	10 600
Kloroform (CHCl ₃ , HC-20)	30
Halon 1301	6 900
HCFC 22 (CHF ₂ Cl)	1 700
CH ₄	23
Metil Bromür (CH ₃ Br)	5
Klorometan (CH ₃ Cl)	16
Diklorometan (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	10
Diazot monoksit (N ₂ O)	296
Trikloreten (1, 1, 1- CH ₃ CCl ₃)	140

Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli

Emisyon faktörleri Çizelge 3.9’da görülmektedir. Ozon tabakasının incelmesi potansiyelinin referans maddesi CFC-11 eşdeğeridir. Ozon tabakasının incelmesi indeksi aşağıdaki eşitlik aracılığıyla hesaplanmıştır (Lippiatt 2007).

$$\text{Ozon tabakasının incelmesi indeksi} = \sum_i m_i \times OP_i \quad (3.8)$$

Burada m_i , i envanter akışının gram olarak kütlesini; OP_i , i envanter akışının fonksiyonel biriminin CFC-11 eşdeğeri cinsinden ifadesini göstermektedir.

Çizelge 3.9 Ozon tabakasının incelmesi potansiyeli emisyon faktörleri.

Akış (i)	OP _i (CFC-11 eşdeğeri)
CCl ₄	1,10
Diklorodiflorometan- CFC 12 (CCl ₂ F ₂)	1,00
Halon 1301 (CF ₃ Br)	10,00
HCFC 22 (CHF ₂ Cl)	0,06
CH ₃ Br	0,60
1, 1, 1- CH ₃ CCl ₃	0,10

Ötrofikasyon Potansiyeli

Ötrofikasyon etki kategorisinin referans maddesi N'dir. Emisyon faktörleri Çizelge 3.10'da verilmiştir. Ötrofikasyon indeksi aşağıdaki eşitlik aracılığıyla hesaplanmıştır (Lippiatt 2007).

$$\text{Ötrofikasyon indeksi} = \sum_i m_i \times EP_i \quad (3.9)$$

Burada m_i , i envanter akışının gram olarak kütlesini; EP_i , i envanter akışının fonksiyonel biriminin N eşdeğeri cinsinden ifadesini göstermektedir.

Çizelge 3.10 Ötrofikasyon potansiyeli emisyon faktörleri.

Akış (i)	EP _i (Azot Eşdeğeri)
NH ₃	0,12
NO _x	0,04
N ₂ O	0,09
P (havaya)	1,12
NH ₄ ⁺ , NH ₃ azotları	0,99
BOİ (Biyokimyasal oksijen ihtiyacı)	0,05
KOİ	0,05
NO ₃	0,24
Nitrit (NO ₂)	0,32
Azotlu Madde (belirsiz, N gibi)	0,99
PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄ fosforları	7,29
P (suya)	7,29

Su Tüketimi

Envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımına göre her ürünün fonksiyonel birimi başına litre cinsinden su kullanımı envanter verisi olarak kullanılmaktadır.

Yaşam Alanı Değişikliği

Yaşam alanı değişikliği etki kategorisi, emisyon faktörleri Çizelge 3.11’de verilmiştir. Yaşam alanı değişikliği etki kategorisinin referans birimi tehdit ve tehlike altındaki türlerin zarar görme potansiyelidir (T&E). Yaşam alanı değişikliği indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (Lippiatt 2007).

$$Yaşam\ alanı\ değişikliği\ indeksi = \sum_i a_i \times TED \quad (3.10)$$

Burada a_i , i envanter akışının m² olarak arazi kullanımını, TED ise m² başına tehdit ve tehlike altındaki türlerin yoğunluğunu ifade etmektedir.

Çizelge 3.11 Yaşam alanı değişikliği potansiyeli emisyon faktörleri.

Akış (i)	TED (T&E sayısı/m ²)
Arazi Kullanımı (Kurulum Atıkları)	6.06E-10
Arazi Kullanımı (Tadilat Atıkları)	6.06E-10
Arazi Kullanımı (Kullanım Sonu Atıkları)	6.06E-10

3.2.3.2 Çevresel Etki Kategorilerinin Ağırlıklandırılması Yöntemi

Çalışmanın ikinci bölümünde açıklanan AHP adımları bu çalışmada, çevresel etki kategorilerinin ağırlıklarının belirlenmesi için uygulanmıştır. BEES Online yazılımı aracılığıyla elde edilen sonuçların çalışma sonuçları ile karşılaştırılabilir olması için bu çalışma kapsamında BEES Paydaş Paneline paralel şekilde ağırlık belirleme çalışması yürütülmüştür.

Bölgesel adaptasyonun sağlanabilmesi için Türkiye’de faaliyet gösteren yeşil bina danışmanları, yeşil bina tasarımcıları ve yeşil bina uygulayıcıları olmak üzere üç grubun gönüllülük esasına bağlı olarak çalışmaya katılımları talep edilmiştir.

Yeşil bina danışmanları Türkiye’de faaliyet gösteren, yeşil bina danışmanlığı veren kurumlar bünyesinde çalışan akredite uzmanlardır. Yeşil bina tasarımcıları, yeşil bina tasarımı yapan kurumlar bünyesinde çalışan mimarlardır. Yeşil bina uygulayıcıları ise yeşil bina üretimi aşamasında görev alan mühendislerdir.

Çalışma kapsamında yedi yeşil bina danışmanı, yedi tasarımcı, yedi uygulayıcı olmak üzere toplam yirmi bir sektör paydaşı ile görüşmeler gerçekleştirilerek çevresel etki kategorilerini kısa vade (0-10 yıl), orta vade (10-100 yıl) ve uzun vadede (>100) olacak şekilde oylamaları istenmiştir.

Çalışmada kullanılan soru formu ve yanıt dağılımları EK 5’te verilmiştir. Sektör paydaşlarının kişisel görüşlerini yansıtan değerler daha sonra AHP aracılığıyla çevresel etki kategorilerinin ağırlık değerlerine dönüştürülmüştür. Ağırlık değerlerinin hesaplanma detaylarına bulgular bölümünde yer verilmiştir.

ISO 14040 (2006) ve ISO 14044 (2006) standartlarında çevresel etki kategorilerinin göreceli önem ağırlıklarının belirlenmesiyle ilgili bir yöntem sınırlaması bulunmamaktadır. Bu nedenle BEES Online yazılımındaki ağırlık setleri varsayım olarak doğrudan kullanılabilir. Ancak bu şekildeki bir varsayım ISO 14044 (2006) kapsamında seçilen çevresel mekanizma ile referans değerlerin zaman ve mekan ölçeğiyle uyumluluğunu göz ardı etmeyi gerektirmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında zaman ve mekan ölçeğiyle uyumluluğun sağlanabilmesi için ağırlık belirleme çalışması yapılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Çünkü EPA Bilim Danışma Kurulu ve BEES Paydaş Paneli tarafından önerilen ağırlıklar farklı yıllarda ABD'deki katılımcıların kendi ülkelerinin koşullarını dikkate alarak verdikleri yanıtların sonucunu ifade etmektedir.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta görüşme sonuçları AHP ile değerlendirilen çalışmalar, yapısı gereği anket çalışmalarından farklıdır. Anket uygulamalarında ana kütle içerisinde seçilen örneklem üzerinden genel sonuçlara ulaşılmaya çalışılmaktadır.

Örneklem büyüklüğünün hesaplanmasında farklı yaklaşımlardan yararlanılmaktadır. Ancak AHP uygulamalarında karar vericiler sınırlı sayıdadır ve anket uygulamalarında olduğu gibi bir örneklem seçilmesi gerekmemektedir (Tüzemen ve Özdağoglu 2007). Ayrıca sonuçların AHP ile değerlendirileceği çalışmalarda katılımcı sayısı arttıkça tutarsızlığın artacağı belirtilmektedir (Karaman Öztaş 2014).

3.2.3.3 Çevresel Etki Kategorilerinin Normalleştirilmesi Yöntemi

Çevresel etki kategorilerinin her birinin birimi birbirinden farklıdır. Örneğin küresel ısınma etkisi CO₂ eşdeğeri, ozon tabakasının incilmesi etkisi CFC-11 eşdeğeri, asitleşme etkisi H⁺ eşdeğeri cinsinden ifade edilmektedir. Yorumlama aşamasında bu etkilerin birlikte değerlendirilebilmesi için farklı referans birimlerle ölçülen etkilerin aynı ölçeğe getirilmesi gerekmektedir. Bu da etkilerin normalleştirilmesi ile mümkün olmaktadır.

Normalleştirme değeri (NF) hesaplamasının bir yolu karakterize edilen akışların (girdilerin) toplamının normalleştirme işleminin yapıldığı bölgenin nüfusuna

oranlanmasıdır.

NF hesabı aşağıdaki eşitlik aracılığıyla yapılmıştır (Ryberg vd. 2014).

$$NF_i = \frac{CF_{i,s} \times E_s}{P} \quad (3.11)$$

Burada NF_i , i etki kategorisi için normalleştirme değeri (etki/yıl/kişi); $CF_{i,s}$, i etki kategorisinin emisyon faktörü (s maddesinin 1 gramının etkisi, etki/g), E_s , hesaplama yapılan bölge için madde emisyonları (g/yıl); P, hesaplama yapılan bölgenin nüfusu (kişi) anlamlarına gelmektedir.

Çalışmada yapı malzemelerinin envanter verilerinin alındığı BEES Online yazılımında, ABD için hesaplanmış normalleştirme değerleri kullanılmaktadır. Türkiye için hesaplanmış standart normalleştirme verileri bulunmadığından normalleştirme değerlerinin elde edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında bu amaca yönelik bir takım araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Normalleştirme değerlerinin elde edilebilmesi için her bir Türk vatandaşının bir yıl içerisinde, her bir çevresel etki kategorisinde neden olduğu etkilerin hesaplanmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Normalleştirme değeri hesaplamalarında 2018 yılı referans yıl olarak seçilmiştir. 2021 yılı itibarıyla Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı, TÜİK verileri ile Avrupa Hava Kirleticilerinin Uzun Menzilli Taşınımının İzlenmesi ve Değerlendirilmesi İçin İşbirliği Programı kapsamında EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme- Avrupa İzleme ve Değerlendirme Programı) tarafından paylaşılan envanter verileri incelendiğinde bütün çevresel etki kategorilerini kapsayan değerlerin 2018 yılına ait olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle 2018 yılı referans yıl olarak dikkate alınmıştır.

Her bir çevresel etki kategorisine ait normalleştirme değerlerinin hesaplanma detayına bulgular bölümünde yer verilmiştir.

3.2.3.4 Yapı Malzemelerinin Değerlendirme Puanlarının Hesaplanması Yöntemi

Çalışmada değerlendirilen malzemelerin toplam değerlendirme puanları aşağıdaki eşitlik aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$DP_j = W_1 \times \frac{\text{ÇPP}_j}{\sum_{j=1}^n \text{ÇPP}_j} + W_2 \times \frac{\text{EPP}_j}{\sum_{j=1}^n \text{EPP}_j} + W_3 \times \frac{\text{SPP}_j}{\sum_{j=1}^n \text{SPP}_j} \quad (3.12)$$

DP_j , j yapı malzemesi için hesaplamalar sonucu elde edilen değerlendirme puanını; W_1 , çevresel performans ağırlığını; ÇPP_j , j malzemesinin çevresel performans puanını; n, değerlendirilen yapı malzemesi sayısını; W_2 , ekonomik performans ağırlığını; EPP_j , j malzemesinin ekonomik performans puanını, W_3 , sosyal performans ağırlığını; SPP_j , j malzemesinin sosyal performans puanını ifade etmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapı malzemeleri için yalnızca çevresel performans puanı hesaplanmıştır. Malzemelerin ekonomik ve sosyal etkileri çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Bu nedenle $W_1=100$ iken, $W_2=0$, $W_3=0$ şeklinde değerlendirme yapılmaktadır.

ÇPP_j , aşağıdaki eşitlikle elde edilmiştir (Lippiatt 2007).

$$\text{ÇPP}_j = \sum_{k=1}^p \text{EDP}_{jk} \quad (3.13)$$

p, çevresel etki kategorisi sayısını; EDP_{jk} , j yapı malzemesinin k çevresel etki kategorisine göre etki değerlendirmesi yapılmış, normalleştirilmiş, ağırlıklandırılmış çevresel etki değerlendirme puanı anlamına gelmektedir.

EDP_{jk} , aşağıdaki eşitlik ile elde edilmiştir (Lippiatt 2007).

$$\text{EDP}_{jk} = \frac{\text{ED}_{jk} \times A_k}{\text{NF}_k} \times 100 \quad (3.14)$$

ED_{jk} , j yapı malzemesinin k çevresel etki kategorisine göre etki değerlendirme yapılmış değerini; A_k , k çevresel etki kategorisinin göreceli önem ağırlığını; NF_k , k çevresel etki kategorisinin normleştirme değerini ifade etmektedir.

ED_{jk} , aşağıdaki eşitlik aracılığıyla elde edilmiştir (Lippiatt 2007).

$$ED_{jk} = \sum_{i=1}^n EA_{ij} \times EF_i \quad (3.15)$$

EA_{ij} , j yapı malzemesinin i emisyonuna ait envanter akışı; EF_i , i emisyonuna ait emisyon faktörleri; n, k çevresel etki kategorisine ait emisyon sayısı anlamına gelmektedir.

3.2.4 Yapı Malzemelerinde YDD'nin Yorum Aşaması

Bu aşama, çalışma kapsamında oluşturulan seçim modelinin sonuçlarının yorumlanmasını içermektedir. Çalışmanın uygulaması ve uygulamaya ilişkin yorum, bulgular başlığı altında yapılmıştır.

3.2.5 Malzemelerin Uygunluk Kontrolü

Çalışmada, bu bölüme kadar anlatılan yöntemlerin uygulanması sonucunda yapı malzemeleri için değerlendirme puanları hesaplanabilecektir. Değerlendirilen malzemeler kendi aralarında çevresel performanslarına göre sıralanacaktır. Bu aşamadan sonra karar verici, projesinde kullanmak üzere alternatifler arasından malzeme seçimi gerçekleştirebilecektir. Karar verici, seçtiği malzemenin YDD bilgilerini kullanarak LEED yeşil bina derecelendirme sistemine uygunluğunu kontrol edebilecektir.

3.2.5.1 Uygunluk Kontrolü Yapılacak LEED Yeşil Bina Derecelendirme Sistemi Kredileri

İkinci bölümde detayları açıklanan LEED v4.1 BD+NC'nin malzeme ve kaynaklar

kredisinden yaşam döngüsü etki azaltma, çevresel ürün beyanı- EPD, hammadde temini, malzeme içeriği, inşaat yıkım ve atık yönetimi kriterleri, iç mekan kalitesi kredisinden düşük emisyonlu malzemeler kriteri uygunluk kontrolü yapılacak kategoriler olarak seçilmiştir.

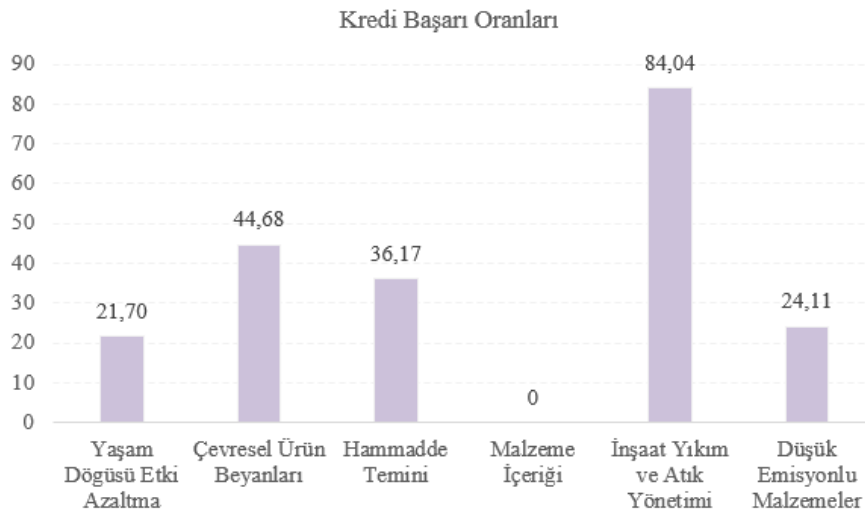
3.2.5.2 Kredi Başarı Oranı Hesaplanma Yöntemi

Kredi başarı oranlarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Xia vd. 2013).

$$KBO = \frac{KK}{KP} \times 100 \quad (3.16)$$

Burada KBO, kredi başarı oranı; KK, uygunluk kontrolü yapılan krediden kazanılan puanı; KP, uygunluk kontrolü yapılan kredinin maksimum puanını göstermektedir.

Türkiye’de 2022 yılı Kasım ayı itibarıyla kırk beş adet LEED v4 BD+NC sertifikalı, iki adet LEED v4.1 BD+NC sertifikalı yapı bulunmaktadır. Bu yapıların puan kartlarına USBGC’nin internet sitesinden (İnt. Kyn. 5) ulaşılabilmektedir. EK 6’da bilgileri verilen kırk yedi adet yapının puan kartlarından elde edilen bilgilere göre ikinci bölümde detayları açıklanan kredilerin, ortalama kredi başarı oranları elde edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Ortalama kredi başarı oranları.

Ortalama kredi başarı oranları referans bilgi olarak kullanılmak üzere, karar verici seçtiği malzemenin kredi başarı oranını referans bilgi ile kıyaslayarak malzeme seçim sürecini tamamlayacaktır.



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmanın üçüncü bölümünde açıklanan materyal ve metotlar kullanılarak elde edilen bulgular ve bulgulara ilişkin tartışmalar aşağıda verilmektedir.

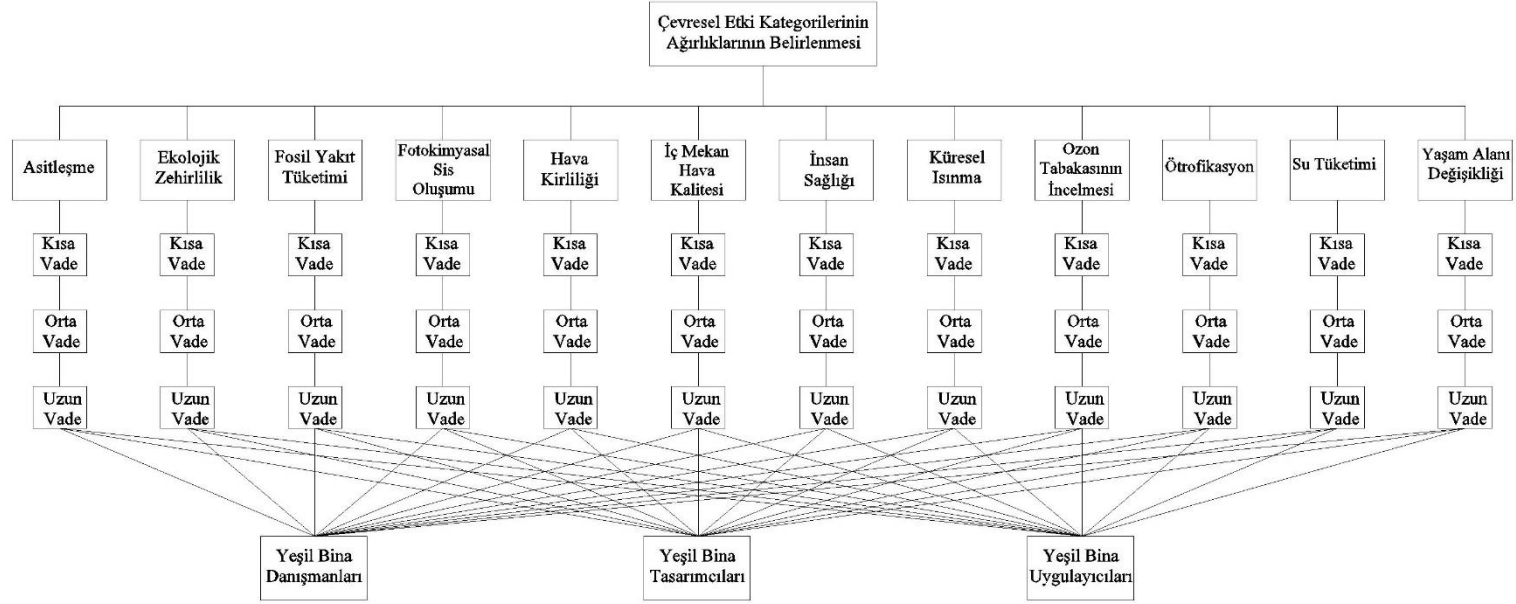
4.1 Ağırlık Değerlerinin Hesaplanması

Ağırlık değerleri hesaplanırken yeşil bina danışmanlarının görüşleri %60, yeşil bina tasarımcılarının görüşleri %30, yeşil bina uygulayıcılarının görüşleri ise %10 oranlarında katkı sağlayacak şekilde çalışmaya dahil edilmiştir. Farklı bireylerin, kuruluşların ve toplumların tercihleri birbirine göre farklılık gösterebileceğinden ISO 14044 (2006) standardına göre tarafların görüşlerinin çalışmaya önem derecelerine göre farklı oranlarda dahil edilmesi, aynı gösterge sonuçlarına bağlı olarak farklı ağırlık değerlerinin elde edilmesi mümkündür.

Şekil 4.1’de çevresel etki kategorilerinin ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla oluşturulan hiyerarşik yapı görülmektedir. Görüşmelerden elde edilen bilgiler doğrultusunda 12×12 boyutlu ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 4.1’deki gibi oluşturulmuştur. İkili karşılaştırma matrisine ait bilgiler çalışmada kullanılan AHP yazılımına girilmiştir. Yazılım aracılığıyla ikinci bölümde detayları açıklanan AHP prosedürüne göre sırasıyla normalize edilmiş matris, göreceli önem vektörü, öncelikler matrisi, öncelik vektörü hesaplamaları yapılmıştır.

Matrisin en büyük öz değeri $\lambda_{\max} = 12,591$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer matris boyutuna (n) eşittir. Tutarlılık göstergesi CI aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{12,591 - 12}{12 - 1} = 0,054$$



Şekil 4.1 Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan kriterler ve alt kriterler

Çizelge 4.1 İkili karşılaştırma matrisi.

	Asitleşme	Ekolojik Zehirlilik	Fosil Yakıt Tüketimi	Fotokimyasal Sis Oluşumu	Hava Kirliliği	İç Mekan Hava Kalitesi	İnsan Sağlığı	Küresel Isınma	Ozon Tabakasının İncelmesi	Ötrofikasyon	Su Tüketimi	Yaşam Alanı Değişikliği
Asitleşme	1	1	1/2	1/2	1/4	1/4	1/4	1/9	2	1	1/5	1/3
Ekolojik Zehirlilik	1	1	1/2	1/2	1/4	1/4	1/4	1/9	2	1	1/5	1/3
Fosil Yakıt Tüketimi	2	2	1	1	1/3	1/4	1/3	1/8	3	2	1/4	1/2
Fotokimyasal Sis Oluşumu	2	2	1	1	1/3	1/4	1/3	1/8	3	2	1/4	1/2
Hava Kirliliği	4	4	3	3	1	1/2	1	1/6	4	4	1/3	2
İç Mekan Hava Kalitesi	4	4	4	4	2	1	2	1/5	5	4	1/2	3
İnsan Sağlığı	1	4	3	3	1	1/2	1	1/6	4	4	1/3	1/2
Küresel Isınma	9	9	8	8	6	5	6	1	9	9	4	7
Ozon Tabakasının İncelmesi	1/2	1/2	1/3	1/3	1/4	1/5	1/4	1/9	1	1/2	1/6	1/2
Ötrofikasyon	1	1	1/2	1/2	1/4	1/4	1/4	1/9	2	1	1/5	1/3
Su Tüketimi	5	5	4	4	3	2	3	1/4	6	5	1	4
Yaşam Alanı Değişikliği	3	3	2	2	1/2	1/3	2	1/7	4	3	1/4	1

Tutarlılık göstergesine bağlı olarak tutarlılık oranı CR aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

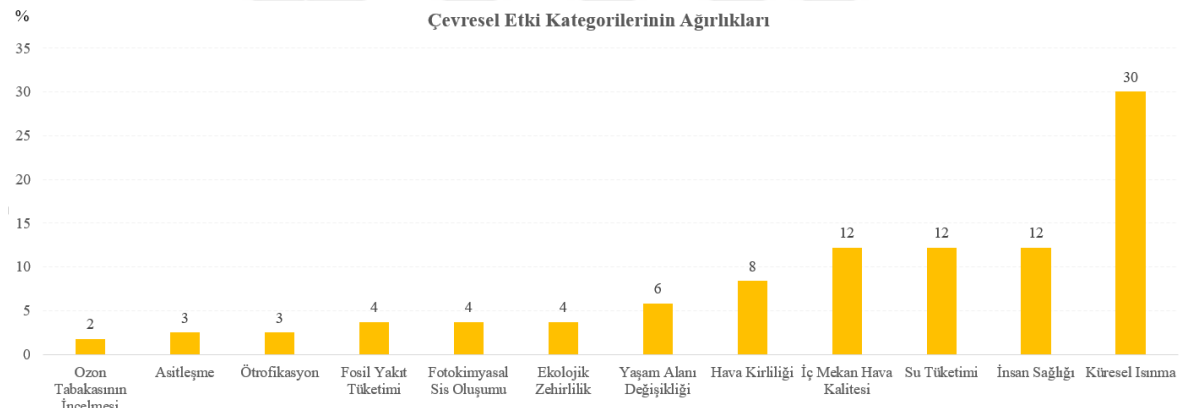
$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,054}{1,54} = 0,035$$

Burada RI değeri, Çizelge 2.12'den alınmıştır. 12×12 boyutlu matris için n=12 olduğundan 1,54 değeri kullanılmıştır.

CR=0,035< 0,1 olduğundan matris tutarlıdır.

Çevresel etki kategorilerinin göreceli önem ağırlıklarının hesaplanmasında, AHP adımlarının uygulaması ana kriterler ve alt kriterler için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Uygulama sonucunda elde edilen ağırlık değerleri Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2 Katılımcı oylamaları sonucunda elde edilen çevresel etki kategorisi ağırlıkları.

4.2 Normalleştirme Değerlerinin Hesaplanması

Bu çalışmada değerlendirme puanının hesaplanması çevresel etki kategorilerinin sonuçlarının toplanması esasına dayanmaktadır. Her bir çevresel etki kategorisi farklı bir birimle temsil edildiğinden sonuçların toplanabilmesi ve toplam çevresel etkinin ifade edilebilmesi için normalleştirme safhasının uygulanması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

4.2.1 Asitleşme Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2021) tarafından yayınlanan Türkiye'nin Bilgilendirici Envanter Raporu'ndan alınan emisyon değerleri ve Çizelge 3.2'de verilen emisyon faktörleri ve 2018 yılı Türkiye nüfusu dikkate alındığında asitleşme indeksi ve normalleştirme değeri Çizelge 4.2'deki gibi hesaplanmıştır.

TÜİK verilerine göre 31 Aralık 2018 tarihi itibarıyla Türkiye nüfusu 82 003 882 kişidir (TÜİK 2019a).

Çizelge 4.2 Asitleşme indeksi ve normalleştirme değerinin belirlenmesi.

Asitleştiriciler	NH ₃	HCl	HCN	HF	H ₂ S	NO _x	SO _x	H ₂ SO ₄
Emisyon Faktörü	95,49	44,70	60,4	81,26	95,9	40,04	50,79	33,30
Emisyon Miktarı (g)	7,28E+11	Y	Y	Y	Y	7,85E+11	2,519E+12	Y
Asitleşme İndeksi	6,952E+13	-	-	-	-	3,143E+13	1,279E+14	-
Toplam	2,289E+14 H ⁺ eşd./yıl							
Nüfus (kişi)	82 003 882							
NF _{AP}	2 791 186,52 H ⁺ eşd./yıl/kişi							
Y: Veri bulunmamaktadır.								

Türkiye'de asit yağmurları ve sınır ötesi kirlilik taşınımının belirlenmesine yönelik çalışmalar Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından gerçekleştirilmektedir. MGM, yağmur sularında yapılan ölçümlerde asit etkisi yapan anyonların en yüksek olduğu dönemler dikkate alınsa bile Türkiye'nin topraklarının alkali yapısının tampon özelliği gösterdiğini bu nedenle asitin nötralize olduğunu, asit yağmurlarının büyük ölçekte bir zarar yaratmadığını belirtmektedir (İnt. Kyn. 11).

4.2.2 Ekolojik Zehirlilik Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

Ekolojik zehirlilik emisyon faktörlerinden (Çizelge 3.3) dioksinler, Hg, Cd, Cr, C₂₀H₁₂, As, Cu, Se, Zn, Pb emisyon envanterleri EMEP Emisyon Envanterleri ve Projeksiyonları

Merkezi (Centre on Emission Inventories and Projections, CEIP) tarafından ilan edilmektedir. Ancak Türkiye için bu maddelerden yalnızca Pb, Cd, Hg emisyonlarına ulaşılabilmektedir. 2018 yılı EMEP CEIP emisyon verileri dahilinde (İnt. Kyn. 12) ekolojik zehirlilik çevresel etki kategorisi için normalleştirme değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Ekolojik zehirlilik indeksi ve normalleştirme değerinin belirlenmesi.

Zehirli Maddeler	Hg	Cd	Pb
Emisyon Faktörü	118 758,09	689,74	12,32
Emisyon Miktarı (g)	29,52E+6	56,84E+6	64,7E+6
Ekolojik Zehirlilik İndeksi	3,506E+12	3,920E+10	7,791E+8
Toplam	3,546E+12 g 2,4D eşd./yıl		
Nüfus (kişi)	82 003 882		
NF _{ETP}	43 238,69 g 2,4-D eşd./yıl/kişi		

4.2.3 Fosil Yakıt Tüketimi Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

Türkiye'nin 2018 yılı birincil enerji tüketimi 143,666 Mtep olarak açıklanmıştır. Bu tüketimin %28,4'ü katı yakıtlardan, %29,2'si petrol ve petrol ürünlerinden, %28,7'si doğalgazdan, %13,8'i de yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır (Çevresel Göstergeler 2020).

Buna göre emisyon değerleri aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\text{Katı yakıt tüketimi} = 6,0151 \times 10^{12} \times 0,284 = 1,70826 \times 10^{12} \text{ MJ/yıl}$$

$$\text{Petrol ve petrol ürünleri} = 6,0151 \times 10^{12} \times 0,292 = 1,75638 \times 10^{12} \text{ MJ/yıl}$$

$$\text{Doğalgaz} = 6,0151 \times 10^{12} \times 0,287 = 1,72631 \times 10^{12} \text{ MJ/yıl}$$

Emisyon değerleri Çizelge 3.4'deki emisyon faktörleri ile çarpıldığında;

$$\text{Kömür} = 1,70826 \times 10^{12} \times 0,25 = 4,27066 \times 10^{11} \text{ MJ/yıl}$$

Petrol ve petrol ürünleri= $1,75638 \times 10^{12} \times 6,12 = 1,07491 \times 10^{13}$ MJ/yıl

Doğalgaz= $1,72631 \times 10^{12} \times 7,8 = 1,34652 \times 10^{13}$ MJ/yıl

$\Sigma = 2,46413 \times 10^{13}$ MJ/yıl

Değerler denklem 3.11’de yerine konduğunda fosil yakıt tüketimi normalleştirme değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$NF_{FP} = \frac{2,46413 \times 10^{13}}{82003882} = 300489,7102 \text{ MJ / yıl / kişi}$$

4.2.4 Fotokimyasal Sis Oluşumu Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Uzun Menzilli Sınır Aşan Hava Kirliliği Sözleşmesi (Convention on Long Range Transboundary Air Pollution, CLRTAP)’nin Avrupa Hava Kirleticilerinin Uzun Menzilli Taşınımının İzlenmesi ve Değerlendirilmesi İçin İşbirliği Programı Protokolü kapsamında NO_x, SO₂, NMVOC, NH₃, CO ve PM₁₀ için ulusal emisyon envanteri hazırlamaktadır (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2021).

Fotokimyasal sis oluşumu emisyon faktörlerinden yalnızca NO_x emisyonlarına ait envanter verilerine ulaşılabildiğinden normalleştirme değerinin hesaplamaları bu değer üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Türkiye’nin Bilgilendirici Envanter Raporu’nda 2018 yılı için NO_x emisyon değeri 785 kton (785 Gg) olarak ilan edilmiştir (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2021).

Fotokimyasal sis oluşumu indeksi;

$$\text{Fotokimyasal Sis Oluşumu İndeksi} = 7,85 \times 10^{11} \times 1,24 = 9,734 \times 10^{11} \text{ g NO}_x \text{ eşd. / yıl}$$

Değerler denklem 3.11’de yerine konduğunda fotokimyasal sis oluşumu normalleştirme değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$NF_{sp} = \frac{9,734 \times 10^{11}}{82003882} = 11870,17 \text{ g NO}_x \text{ eşd. / yıl / kişi}$$

Fotokimyasal sis oluşumu emisyon faktörlerine bakıldığında ülkemizde büyük oranda envanter eksikliği olduğunu söylemek mümkündür. Örneğin bu emisyon faktörlerinden furanlar, plastik atıklar ve klorlu malzemelerin yakılması sonucu açığa çıkan insan sağlığını ciddi oranda tehdit eden ürünlerdir. Greenpeace tarafından 2021 yılında Adana’da farklı çöp döküm ve atık yakma sahalarından alınan örneklerin incelemesi gerçekleştirilmiştir. İnceleme yapılan bölgelerin bazılarında tespit edilen dioksin furan miktarlarının, hiç kirletilmemiş toprak kontrol numunesine oranla 400 000 kat daha fazla olduğu tespit edilmiş olup Türkiye’de toprakta tespit edilen en yüksek dioksin furan miktarı olarak kaydedilmiştir (İnt. Kyn. 13). EMEP CEIP emisyon raporlarında dioksinler ve furanlar listelenmesine rağmen Türkiye için bu veri sekmesinde, çalışmanın referans yılı 2018 için ve diğer yıllar için herhangi bir emisyon bilgisi yer almamaktadır.

4.2.5 Hava Kirliliği Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

Türkiye’de 2008 yılında yürürlüğe giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği kapsamında SO₂, NO_x, O₃, CO, , PM₁₀ ve PM_{2.5}, C₆H₆, Pb, As, Ni, Cd, C₂₀H₁₂, ozon öncül maddeler ve gaz halindeki toplam Hg ölçümlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından ölçüm sonuçları online olarak paylaşılmaktadır.

Türkiye’deki hava kalitesi izleme istasyonlarından 335’inde PM₁₀, 302’sinde SO₂, 296’sında NO_x, 198’sinde O₃, 186’sında CO ve 162’sında PM_{2.5} parametreleri ölçülmektedir (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2020).

Türkiye’nin hava kirliliğinden kaynaklanan DALY’lerinin hesaplanabilmesi için NO_x, PM ve SO_x emisyonları EMEP CEIP (İnt. Kyn. 12) verilerinden ve Çizelge 3.6’daki

emisy on faktörlerinden yararlanılmıştır.

Normalleştirme değeri Çizelge 4.4’deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4 Hava kirliliği indeksi ve normalleştirme değeri n i belirlenmesi.

Hava Kirleticileri	NO _x	>PM10	<=PM10	Tanımlanamaya n boyuttaki PM	SO _x
Emisyon faktörü	0,002	0,046	0,083	0,046	0,014
			239,08E+9 g		
Emisyon Miktarı	7,85E+11 g	Y	(PM10) 193,64E+9 g	Y	2,52E+12 g
			(PM2,5)		
Hava Kirliliği İndeksi	1 570 000 000	-	35 915 760 000	-	35 266 000 000
Toplam	72 751 760 000 mikroDALY/yıl				
Nüfus (kişi)	82 003 882				
NF _{CP}	887,17 mikroDALY/yıl/kişi				
Y: Veri bulunmamaktadır.					

Temiz Hava Hakkı Platformu tarafından yayınlanan Kara Rapor 2020’de ifade edildiğine göre Türkiye’de mevzuatlarda hava kirliliği için tanımlanan limit değ erler Dünya Sağlık Örgütü kılavuz değ erine indirilmiş olsaydı 2019 yılında gerç ekleş en tüm ö lümlerin %7,9’u (31 476 ö lüm) ve 2018 yılındaki tüm ö lümlerin %12.13’ü (45 398 ö lüm) ö nlenebilirdi (Temiz Hava Hakkı Platformu 2020).

4.2.6 İ ç Mekan Hava Kalitesi Normalleştirme Değ erinin Hesaplanması

BEES’te iç mekan hava kalitesi çevresel etki kategorisi değ erlendirilirken toplam uçucu organik bileş ik konsantrasyon değ eri dikkate alınmaktadır. Bu çevresel etki kategorisine ait normalleştirme değ eri BEES Online’da 35 108,09 gram TVOC/ yıl/ kişi’dir. Envanterlerin doğ rudan kullanımı yaklaşımına göre bu değ er çalış mada, varsayım olarak doğ rudan kullanılmış tır.

4.2.7 İnsan Sağlığı Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

Çizelge 3.7'deki emisyon faktörleri insanlarda kansere neden olma ve kansere neden olmama durumlarına göre sınıflandırılmaktadır.

İnsan sağlığı emisyon faktörlerinden dioksinler, As, C₂₀H₁₂, Hg, Pb, Cd, Cr, C₂Cl₆, benzo (k) floranten, indeno (1,2,3,c,d) piren, benzo (b) floranten değerlerine, EMEP CEIP kapsamında erişim sağlanmaktadır. AB ülkeleri ve Büyük Britanya için bu değerlerin tamamı mevcuttur. Ancak Türkiye için bu envanter verilerinden yalnızca Pb, Hg, Cd değerlerine ulaşılabilmektedir. Erişilebilen veriler dahilinde (İnt. Kyn. 12) normalleştirme değeri Çizelge 4.5'deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5 İnsan sağlığı indeksi ve normalleştirme değerinin belirlenmesi.

Kimyasallar	Kansere neden olma potansiyeli		Kanser dışı hastalıklara neden olma potansiyeli		
	Cd	Pb	Hg	Cd	Pb
Emisyon Faktörü	1 759 294	748 316	19 255 160	4 950 421	1 501 293
Emisyon Miktarı (g)	56,84E+6	64,7E+6	29,52E+6	56,84E+6	64,7E+6
İnsan Sağlığı İndeksi	1,00E+14	4,842E+13	5,684E+14	2,814E+14	9,713E+13
Toplam	1,10E+15 g C ₇ H ₈ eşd/yıl				
Nüfus (kişi)	82 003 882				
NF _{HP}	13 357 199,68 g C ₇ H ₈ eşd/yıl/kişi				

4.2.8 Küresel Isınma Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

Türkiye'nin ulusal sera gazı emisyonları Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından IPCC Rehberi kullanılarak hesaplanmaktadır. Sera gazı envanteri sonuçlarına göre, 2018 yılı toplam sera gazı emisyonu 522 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır (TÜİK 2020b). TÜİK tarafından kişi başı toplam sera gazı emisyonu 2018 yılında 6,4 ton CO₂ eşd. olarak ilan edilmiştir. TÜİK tarafından bu veri doğrudan CO₂ eşd./ yıl /kişi olarak ilan edildiğinden küresel ısınma çevresel etki kategorisi

normalleştirme değeri 6 400 000 g CO₂ eşd./ yıl /kişi olarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

Sera gazı emisyonlarının ölçülmesi bir ülkenin iklim değişikliğine olan katkısının izlenmesi açısından önemli bir konudur. 2016 yılı küresel emisyon verilerine göre en çok sera gazı salınımı yapan ülkeler Çin (%25,8), ABD (%12,8), Hindistan (%6,7) şeklinde sıralanmaktadır (TÜİK 2020b). Bu veriler bağlamında nüfus artışına paralel olarak artan insan faaliyetlerinin sera gazı salınımlarını artırdığını söylemek mümkün olmaktadır. Sera gazı emisyonları 2016 yılı dünya sıralamasında 17. Sırada yer alan Türkiye'nin küresel ölçekteki payı %1'dir (TÜİK 2020b).

4.2.9 Ozon Tabakasının İncelmesi Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

CFC maddelerin üretimi ve kullanımı, Montreal Protokolü ile yasaklanmıştır. Türkiye 1991 yılında Ozon Tabakasının Korunmasına İlişkin Viyana Sözleşmesi ile Montreal Protokolüne taraf olmuştur (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2021).

Türkiye'de, Çizelge 3.9'da yer alan ozon tabakasının incelmesinde etkili maddelerin üretimi, tüketimi ve ticareti, Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Yönetmelik (2017) ile yasaklanmıştır. Zorunlu kullanımlar ise kontrol altına alınmıştır. 2018 yılında ozon tabakasının incelten madde tüketimi 200 ton'dur (Çevresel Göstergeler 2020). Maddelerin kullanımı denetim dahilinde olduğundan emisyon faktörü katsayısı 1 olarak alınmıştır. Ozon tabakasının incelmesi indeksi ve normalleştirme değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Ozon Tabakasının İncelmesi İndeksi = $1 \times 2 \times 10^8$ gram CFC-11/ yıl

$$NF_{op} = \frac{2 \times 10^8}{82003882} = 2,439 \text{ g CFC-11 eşd./ yıl / kişi}$$

4.2.10 Ötrofikasyon Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

Türkiye’de ötrofikasyona ilişkin göstergeler Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından izlenmektedir. Türkiye’nin deniz su kütlesi ve iç suları dikkate alındığında ötrofikasyon potansiyelinin belirlenebilmesi için oldukça kapsamlı bir envanter çalışması gerekmektedir. Ancak Bakanlık izleme çalışmalarını Akdeniz, Karadeniz, Ege Denizi, Marmara Denizi ve kirlilik yükü en fazla olan Ergene, Küçük Menderes, Gediz, Kuzey Ege, Sakarya ve Susurluk nehir havzalarında gerçekleştirmektedir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Laboratuvar, Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı tarafından gerçekleştirilen Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Çalışması kapsamında denizlerde yapılan kalite ve kirlilik ölçüm göstergeleri, kirlilik yükü en fazla olan havzalardaki nitrat azotu, toplam azot ve orto-fosfat fosforu parametreleri (İnt. Kyn. 14) ve Çizelge 3.10’daki emisyon faktörleri dikkate alınarak ötrofikasyon indeksi ve normalleştirme değeri Çizelge 4.6’daki gibi hesaplanmıştır.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, hesaplamalar denizler ve kirlilik izleme çalışmaları yürütülen havzalara ait değerler kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken kullanılabilir yüzey suyu miktarı 98 milyar metreküp olarak dikkate alınmıştır. Ülkemizdeki bütün havzalara ait ölçüm verileri bulunmaması ötrofikasyon çevresel etki kategorisine ait normalleştirme değerinin hesaplama sınırı olarak karşımıza çıkmaktadır. Hesaplamalar ortalama bir değeri yansıtmakta olup bu çevresel etki kategorisinin envanter verilerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 4.6 Ötrofikasyon indeksi ve normalleştirme değerinin belirlenmesi.

Kimyasallar	NH ₃	NO _x	N ₂ O	P (havaya)	NH ₄ ⁺ , NH ₃ azotu	BOİ	KOİ	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Azotlu Madde	PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄ , fosforları	P (suya)
Emisyon Faktörü	0,12	0,04	0,09	1,12	0,99	0,05	0,05	0,24	0,32	0,99	7,29	7,29
Akdeniz (ort.)	Y	0,608	Y	Y	0,245	Y	Y	Y	Y	0,892	0,048	0,162
Ege (ort.)	Y	0,717	Y	Y	0,977	Y	Y	Y	Y	Y	0,095	0,439
Karadeniz (ort.)	Y	0,597	Y	Y	0,246	Y	Y	Y	Y	Y	0,073	0,366
Marmara (ort.)	Y	0,643	Y	Y	0,281	Y	Y	Y	Y	Y	0,28	0,758
Büyük Menderes Havzası (ort.)	Y	1,125	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	8,575	Y	0,45
Doğu Karadeniz Havzası (ort.)	Y	1,27	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	3,93	Y	0,125
Konya Havzası(ort.)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	0,11
Doğu Akdeniz Havzası (ort.)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	0,025
Çoruh Havzası (ort.)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	0,04
Ergene Havzası	Y	1,5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

Çizelge 4.6 (Devam) Ötrofikasyon indeksi ve normalleştirme değerinin belirlenmesi.

Kimyasallar	NH ₃	NO _x	N ₂ O	P (havaya)	NH ₄ ⁺ , NH ₃ azotu	BOİ	KOİ	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Azotlu Madde	PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄ , fosforları	P (suya)
Emisyon Faktörü	0,12	0,04	0,09	1,12	0,99	0,05	0,05	0,24	0,32	0,99	7,29	7,29
Ergene Havzası	Y	1,5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Küçük Menderes Havzası	Y	1,2	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Sakarya Havzası	Y	1,1	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Gediz Havzası	Y	2,2	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Kuzey ege (Bakırçay) Havzası	Y	1,8	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Susurluk Havzası	Y	0,95	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Ötrefikasyon İndeksi	-	0,470	Y	Y	0,402	-	-	-	-	12,585	0,839	8,385
Toplam	2222671548723,900 g N eşd./yıl											
Nüfus (kişi)	82 003 882											
NF _{EP}	27104,47 g N eşd./yıl/ kişi											

Y: Veri bulunmamaktadır.

4.2.11 Su Tüketimi Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

2018 yılı TÜİK verilerine göre Türkiye’de kişi başı çekilen günlük ortalama su miktarı 224 litre / kişi/ gün’dür (TÜİK 2019b). Envanterlerin doğrudan kullanımı yaklaşımına göre su tüketimi için normalleştirme değeri 81 760 litre/ yıl/ kişi olarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

4.2.12 Yaşam Alanı Değişikliği Normalleştirme Değerinin Hesaplanması

Türkiye’de arazi kullanımı CORINE (Coordination of Information on the Environment - Çevresel Bilginin Koordinasyonu), Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırmasına göre sınıflandırılmaktadır (İnt. Kyn. 15). Türkiye’de CORINE kapsamında 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarında çeşitli proje çalışmaları yürütülmüştür. 2018 yılı CORINE verilerine göre Türkiye’nin %1,94’ü yapay bölgelerden (binalar ve ulaşım ağları), %42,26’sı tarım alanlarından, %50,31’i orman ve yarı doğal alanlardan, %0,51’i sulak alanlardan, %4,98’i su kütlelerinden oluşmaktadır (Çevresel Göstergeler 2020). 2018 yılı için Türkiye’nin yapay bölgeleri (binalar ve ulaşım ağları) 1565 bin hektar olarak belirlenmiştir (Çevresel Göstergeler 2020). Yaşam alanı değişikliği emisyon faktörleri yapı alanlarının kurulumu, onarımı ve kullanım sonrasındaki arazi işgalini kapsamaktadır.

Yaşam alanı değişikliği indeksi ve normalleştirme değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Yaşam Alanı Değişikliği İndeksi} = 1565 \times 10^3 \times 10^5 \times 6,06 \times 10^{-10} = 9,4839 \text{ sayı / m}^2$$

$$NF_{TED} = 9,4839 \times 0,000247 = 0,002343 \text{ sayı / arazi / kişi}$$

Çalışmada dikkate alınan on iki adet çevresel etki kategorisi için elde edilen normalleştirme değerleri ve BEES Online sistemindeki ABD normalleştirme değerleri Çizelge 4.7’de görülmektedir.

Çizelge 4.7 Normalleştirme değerleri.

Çevresel Etki Kategorisi	Referans Birimi	Mevcut Çalışma	ABD (İnt. Kyn. 6)
Asitleşme	H ⁺ eşd./yıl/kişi	2 791 186,52	7 800 200 000
Ekolojik Zehirlilik	g 2,4-D eşd./ yıl/ kişi	43 238,69	81 646,72
Fosil Yakıt Tüketimi	MJ enerji/ yıl/ kişi	300 489,72	35 309
Fotokimyasal Sis Oluşumu	g NO _x eşd./ yıl/ kişi	11 870,17	151 500,03
Hava Kirliliği	mikroDALY/ yıl/ kişi	887,17	19 200
İç Mekan Hava Kalitesi	g ToplamVOC/ yıl/ kişi	35 108,09	35 108,09
İnsan Sağlığı	g C ₇ H ₈ eşd./ yıl/ kişi	13 357 199,68	274 557 555,37
Küresel Isınma	g CO ₂ eşd./yıl/kişi	6 400 000	25 582 640,09
Ozon Tabakasının İncelmesi	g CFC-11 eşd./ yıl/ kişi	2,439	340,19
Ötrofikasyon	g N eşd./yıl/kişi	27 104,47	19 214,20
Su Tüketimi	litre/ yıl/ kişi	81760	529 957,75
Yaşam Alanı Değişikliği	sayı/arazi/ kişi	0,002343	0,00335

4.3 Değerlendirme Puanlarının Hesaplanması

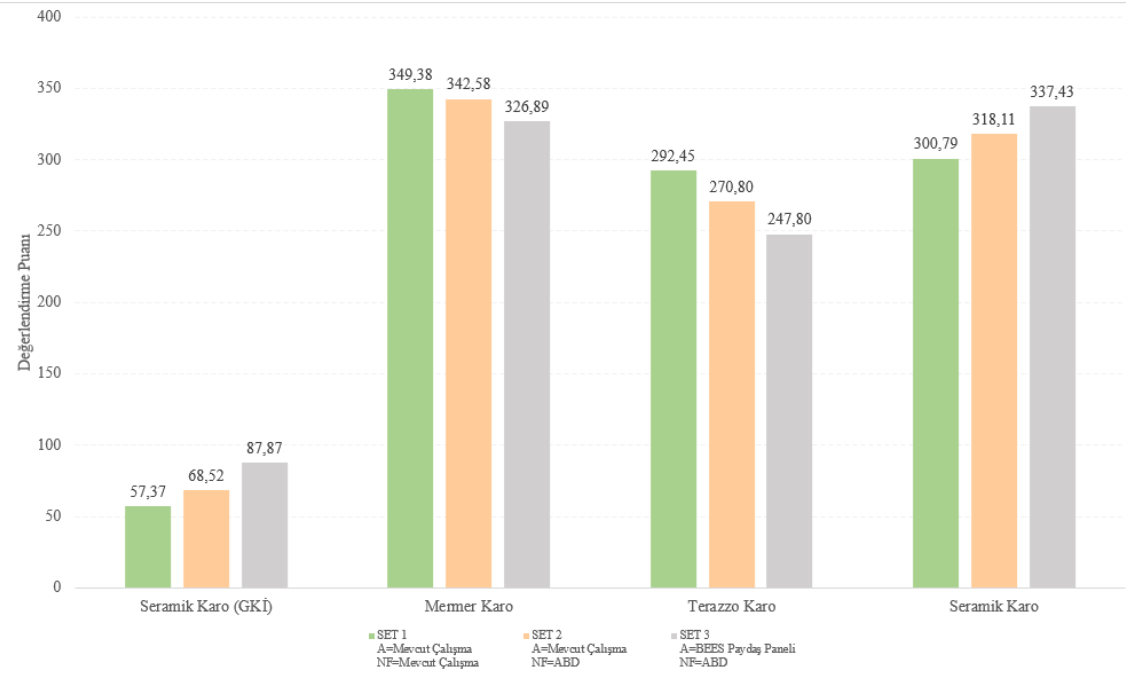
Seçim problemine dahil edilmek üzere seçilen ve Çizelge 3.1’de bilgileri verilen yapı malzemeleri yaşam döngüleri içerisinde, asitleşme, hava kirliliği, ekolojik zehirlilik, ötrofikasyon, fosil yakıt tüketimi, küresel ısınma, yaşam alanı değişikliği, insan sağlığı, iç mekan hava kalitesi, ozon tabakasının incelmesi, fotokimyasal sis oluşumu, su tüketimi çevresel etki kategorileri üzerinde farklı büyüklükte etkiler yaratmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen ağırlık ve normalleştirme değerlerine (Set 1) bağlı olarak denklem 3.12 ile denklem 3.15 aracılığıyla yapı malzemelerinin değerlendirme puanları hesaplanmıştır.

Hangi malzemenin daha *yeşil* olduğuna karar verirken değerlendirme puanlarının dikkate alınması gerekmektedir. Değerlendirme puanı hesaplama prosedürü her bir malzemenin on iki farklı çevresel etki kategorisi üzerinde yarattığı etkilerin toplanmasına dayandığından, değerlendirme puanı düşük olan malzeme çevresel performansı yüksek

olan malzemeyi temsil etmektedir. Hesaplanan değerlendirme puanlarına göre Grup 1 malzemeleri arasında, geri kazanılmış içerikli seramik karo 57,37 puanla değerlendirilen malzemeler arasında çevresel performansı en yüksek malzeme olarak belirlenmiştir. Değerlendirilen malzemeler arasında terazzo karo 292,45 puanla ikinci sırada, seramik karo 300,79 puanla üçüncü sırada, mermer karo 349,38 puanla dördüncü sırada yer almıştır.

Buradaki hesaplamalarda kullanılan ağırlık ve normalleştirme değerleri, Türkiye’deki ilgili sektör paydaşlarının görüşlerine ve Türkiye’nin emisyon değerlerine dayanılarak hesaplandığından bölgesel adaptasyon açısından önem taşımaktadır. YDD, her ne kadar kabul görmüş standart uygulama adımlarını içerse de göreceli bir yaklaşım olduğundan bir ülke için elde edilen değerler başka bir ülke için yanıltıcı hale gelebilmektedir. Bu nedenle bu çalışma, ağırlık ve normalleştirme değerlerinin ülkemiz için elde edilmiş olması açısından önemlidir.

Çalışma kapsamında hesaplanan ağırlık ve normalleştirme değerlerinin bölgesel adaptasyon için önemini daha net bir şekilde görmek adına değerlendirme puanı hesaplamaları, mevcut çalışma kapsamında belirlenen ağırlık değerleri-ABD normalleştirme değerleri (Set 2) ve BEES Paydaş Paneli ağırlıkları-ABD normalleştirme değerleri (Set 3) kullanılarak da yapılmıştır. Set 1, Set 2, Set 3 olarak isimlendirilen ağırlık ve normalleştirme değerlerine göre yapılan hesaplamalardan elde edilen değerlendirme puanları Şekil 4.3’te görülmektedir.



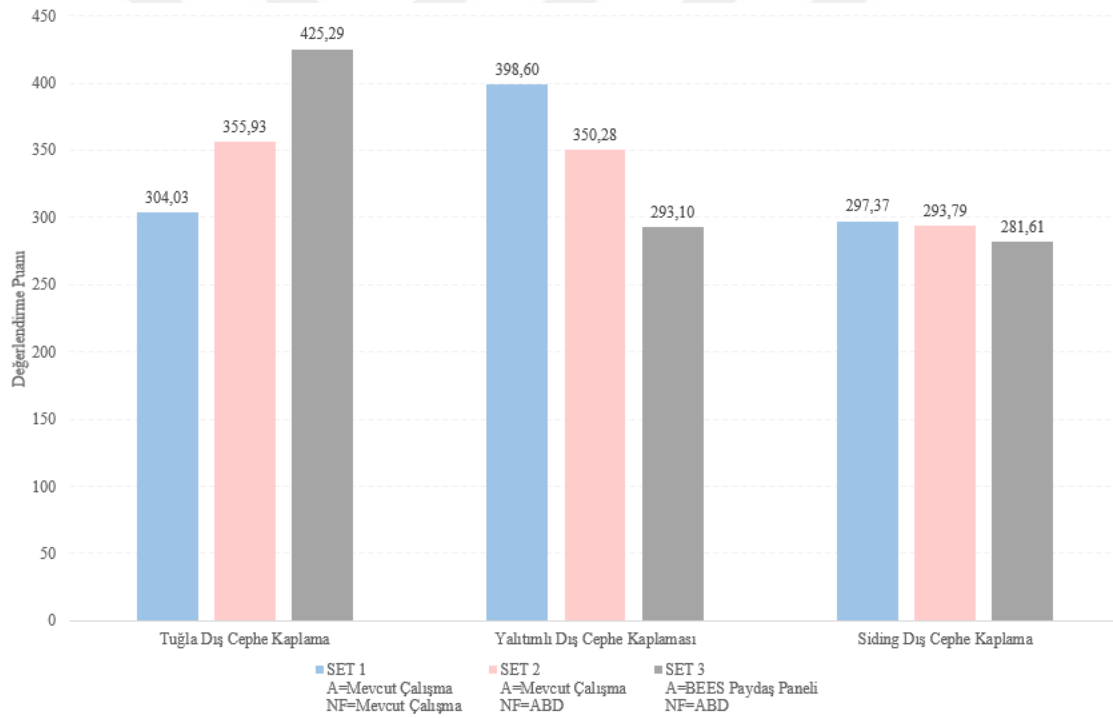
Şekil 4.3 Farklı ağırlık ve normalleştirme değerlerine göre hesaplanan Grup 1 malzemeleri değerlendirme puanları.

Set 2 değerleri kullanılarak yapılan hesaplama sonuçları incelendiğinde değerlendirme puanına göre sıralamanın Set 1 ile aynı olduğu görülmektedir. Ancak değerlendirme puanları sayısal değer olarak farklılık göstermektedir.

Hesaplamalar Set 3 değerleri kullanılarak yapıldığında değerlendirme puanına göre sıralama; geri kazanılmış içerikli seramik karo, terazzo karo, mermer karo ve seramik karo şeklinde olmuştur. Bu kez Set 1 ve Set 2'ye göre sırlamada da değişiklik olmuştur. Buradaki çevresel performans sıralamaları, seçim problemine dahil edilen malzemelerin kendi aralarındaki kıyaslamaların bir sonucudur. Çalışma sınırlı sayıda malzeme alternatifi için gerçekleştirilebildiğinden sıralamalarda benzerlik olması beklenen bir sonuçtur. Ancak her üç değerlendirme setinde aynı malzeme için hesaplanan değerlendirme puanları birbirinden farklıdır. Bu durum, kullanılan ağırlık ve normalleştirme değerlerinin birbirine üstünlüğü olmadığını ancak bölgesel adaptasyona bağlı olarak elde edilen değerlerin çalışma sonuçlarını etkilediğini göstermektedir.

Grup 1 malzemeleri için yapılan hesaplamalar Set 1, Set 2, Set 3 değerleri kullanılarak Grup 2 için de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerlendirme puanları Şekil 4.4'te görülmektedir.

Set 1 hesaplamalarına göre çevresel performans sıralaması; yüksekte düşüğe siding dış cephe kaplama, tuğla dış cephe kaplaması, yalıtımlı dış cephe kaplama şeklinde olmuştur. Set 2 sonuçlarına göre çevresel performans sıralaması; siding dış cephe kaplama, yalıtımlı dış cephe kaplaması ve tuğla dış cephe kaplama şeklinde olmuştur. Set 2 ve Set 3 çevresel performans sıralaması olarak aynı sıralamaya sahip olmuştur. Şekil 4.4'teki değerlendirme puanlarına bakıldığında Grup 1 değerlendirmelerinde olduğu gibi aynı malzeme için her sette elde edilen değerlendirme puanları birbirinden farklıdır.



Şekil 4.4 Farklı ağırlık ve normalleştirme değerlerine göre hesaplanan Grup 2 malzemeleri değerlendirme puanları.

Grup 1 ve Grup 2 malzemeleri için yapılan Set 1 değerlendirmeleri, mevcut çalışma kapsamında elde edilen ağırlık ve normalleştirme değerleri kullanılarak yapılan hesaplamaları yansıtmaktadır. Set 2 değerlendirmeleri, eğer çalışma kapsamında Türkiye için yalnızca ağırlık değerleri hesaplanıp normalleştirme değerleri hesaplanmasaydı,

değerlendirmelerde nasıl farklılıklar olacağını göstermek için yapılmıştır. Set 3 değerlendirmeleri, Türkiye için ağırlık ve normalleştirme değerleri elde edilmeden, çalışmada yararlanılan BEES Online’da tanımlı değerler doğrudan kullanılsaydı sonuçların nasıl etkileneceğini görmek için gerçekleştirilmiştir.

Grup 1 ve Grup 2 malzemeleri için yapılan Set 1, Set 2 ve Set 3 hesaplama sonuçları, ISO 14044’te (2006) belirtildiği gibi seçilen çevresel mekanizma ile referans değerlerin zaman ve mekan ölçeğiyle uyumluluğunu dikkate almanın zorunlu hale geldiğini göstermektedir. Çünkü referans alınan yıl için ABD ve Türkiye’nin emisyon değerleri, nüfusları, seçilen çevresel etki kategorilerinin ağırlıkları birbirinden farklıdır. Bütün bu farklılıklar çalışmanın sonucunu etkilemektedir.

Grup 1 ve Grup 2 değerlendirme puanı hesaplamalarının tamamında malzemelerin, proje sahasının 805 km çevresinden temin edildiği varsayılmıştır.

4.4 Kredi Başarı Oranlarının Hesaplanması

Örnek Senaryo

Çalışmada ASHRAE 90.1 standardı Ek-G’nin genel konseptine uygun olarak örnek bir senaryo oluşturulmuştur.

Senaryoya ait tasarım bilgileri simülasyon girdileri olarak düzenlenmiştir. Tasarım girdileri olarak referans model ile proje modelinin cephe, ısıtma soğutma havalandırma, aydınlatma sistemlerine ait ısı iletim katsayıları, ısı direnç katsayıları, güneş enerjisi toplam geçirgenlik katsayıları, enerji verimlilik oranları, performans katsayıları seçilmiştir. Referans model ve proje modeli kurgulanarak simülasyon girdileri ile uyumluluğu kontrol edilmiştir.

Örnek senaryo oluşturulurken yapılan varsayımlar şu şekildedir:

- Referans model ile proje modelindeki binalar aynı iklim bölgesinde bulunmaktadır ve aynı büyüklükte dirler.

- Proje modelindeki bina ile kullanılacak yapı malzemelerinin servis ömürleri eşdeğerdir ve 50 yıldır.
- Yapı malzemelerinin üretimi için hammaddelerin ve malzemelerin proje sahasına nakliyelerinin dizel motorlu kamyonlarla gerçekleştirilmektedir.
- Malzeme taşıma işlemi tek yönlü gerçekleştirilmektedir.
- Malzemelerin kullanım ömrü içerisindeki bakım işlemleri sistem sınırlarına dahil değildir.
- Yaşam sonunda çöp sahasına atılacak olan malzemelerin en az %50'sinin Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'ne (2004) uygun olacak şekilde otopark yapımı, yürüyüş yolu yapımı, kaldırım yapımı, yeni beton yol üretimi, drenaj çalışmaları, kanalizasyon borusu ve kablo döşemelerinde dolgu malzemesi olarak, diğer dolgu işlerinde ve rekreasyon çalışmaları için kullanılmak üzere geri dönüştürüleceği bir atık yönetim planına sahip olduğu dikkate alınmaktadır.
- Binanın bütünü için aynı prosedür ile malzeme seçimi gerçekleştirilmektedir.
- Seçilen malzemenin, kullanılan diğer malzemelerle birlikte bütün binayı yansıttığı kabul edilmektedir.
- Malzemeler, proje sahasının 805 km çevresinden temin edilmektedir.
- Literatür taramasından elde edilen YDD değerlerinin, referans binada kullanılan malzemeleri yansıttığı kabul edilmektedir.

Önceki bölümde yapılan değerlendirmelerde, Grup 1, Set 1 hesaplamaları sonucunda çevresel performansı en yüksek malzeme geri kazanılmış içerikli seramik karo olarak belirlenmiştir. Türkiye'de geri kazanılmış içerikli seramik karo üretimi gerçekleştirilmektedir. Ancak geri kazanılmış içerikli seramik karonun YDD bilgileri bulunmadığından karşılaştırmalar, literatürden elde edilen seramik karo üretim sürecine ait bilgilere göre yapılmıştır. Bu nedenle Çizelge 4.8'de hem seramik karo için hem de geri kazanılmış içerikli seramik karo için sağlanan iyileştirme oranları görülmektedir.

Çizelge 4.8 Grup 1-Set 1 hesaplamalarından elde edilen iyileştirme oranları.

Sıra	Yer	Sistem Sınırı	Küresel Isınma	Fosil Yakıt Tüketimi	Ozon Tabakasının İncelmesi	Kaynak
1	Türkiye	Beşikten mezara	14,40 kg CO ₂ eşd. /m ²	2,21E+2 MJ	1,28E-6 kg CFC-11 eşd/ m ²	Atılğan Türkmen vd. (2021)
2	Türkiye	Beşikten mezara	13,51 kg CO ₂ eşd. /m ²	2,08E+2 MJ	1,49E-6 kg CFC-11 eşd/ m ²	İnt. Kyn. 16
3	Portekiz	Beşikten kapıya	11,29 kg CO ₂ eşd. /m ²	-	-	Quinteiro vd. (2014)
4	Tayland	Beşikten mezara	39,43 kg CO ₂ eşd. /m ²	-	-	Tikul ve Srichandr (2010)
5	İspanya	Beşikten kapıya	8,46 kg CO ₂ eşd. /m ²	-	2,49E-7 kg CFC-11 eşd/ m ²	Bovea vd. (2010)
6	Çin	Beşikten kapıya	16,42 CO ₂ eşd. /m ²	-		Peng vd. (2012)
7	İtalya	Beşikten mezara	14,73 CO ₂ eşd. /m ²	2,06E+2 MJ	6,80E-10 kg CFC-11 eşd/ m ²	İnt. Kyn. 17
8	ABD	Beşikten mezara	19,59 CO ₂ eşd. /m ²	2,30E+2 MJ	6,70E-10 kg CFC-11 eşd/ m ²	İnt. Kyn. 18
9	Mevcut Çalışma [Seramik Karo]	Beşikten mezara	13,76 kg CO ₂ eşd. /m ²	2,02E+2 MJ	0 CFC-11 eşd/ m ²	
10	Mevcut Çalışma [Seramik Karo (GKİ)]	Beşikten mezara	6,09 kg CO ₂ eşd. /m ²	0,0722E+2 MJ	0 CFC-11 eşd/ m ²	
İyileştirme Oranı [Seramik Karo]			%4,43	%8,47	%100	
İyileştirme Oranı [Seramik Karo (GKİ)]			%57,68	%67,31	%100	

Karar verici seçtiği malzemenin YDD bilgilerini kullanarak LEED yeşil bina derecelendirme sistemi kredilerinden puan kazanımını kontrol edebilecektir.

Bina Yaşam Döngüsü Etki Azaltma (MR Kredi): Bu krediden puan kazanmanın alternatifleri ve izlenecek yollara ilişkin detaylar ikinci bölümde açıklanmıştır. Referans binaya kıyasla proje binasında biri küresel ısınma, diğer ikisi ozon tabakasının incelmesi, asitleşme, ötrofikasyon veya fosil yakıt tüketimi çevresel etki kategorilerinden olmak üzere çevresel etki azalması sağlanarak puan kazanılmaktadır.

Çalışma kapsamında çevresel etki karşılaştırılması yapılacak çevresel etki kategorileri küresel ısınma, fosil yakıt tüketimi ve ozon tabakasının incelmesi olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.8’de bu çevresel etki kategorilerindeki iyileştirme oranları, Atılğan Türkmen vd. (2021) tarafından Türkiye’de seramik karo üretim süreci için belirlenmiş olan çevresel etki kategorileri ile kıyaslanarak belirlenmiştir.

Grup 1, Set 1 hesaplamalarında, çevresel performansı en yüksek malzeme geri kazanılmış içerikli seramik karo olarak belirlenmiştir. Normal şartlarda karar vericinin çevresel performansı en yüksek olan malzemeyi seçmesi beklenmektedir. Ancak karşılaştırma için yeterli referans bilgi bulunmadığından, karar vericinin Grup 1, Set 1 sıralamasından üçüncü sıradaki seramik karoyu seçtiği varsayılarak iyileştirme oranları hesaplanmıştır.

Proje modelinde kullanılmak üzere seramik karo malzemesinin seçilmesiyle Çizelge 4.8’e göre küresel ısınma etki kategorisinde %4,43, fosil yakıt tüketimi etki kategorisinde %6,45, ozon tabakasının incelmesi etki kategorisinde %100 iyileştirme sağlanmaktadır. Böylece bina yaşam döngüsü etki azaltma kredisi Seçenek 2, Yol 2’nin gerekleri sağlanmakta olup 2 puan kazanılacaktır.

Çizelge 4.8’in birinci satırındaki referans değerler geri kazanılmış içerikli seramik karoya ait olsaydı küresel ısınma etki kategorisinde %57,68, fosil yakıt tüketimi etki kategorisinde %67,31, ozon tabakasının incelmesi etki kategorisinde %100 iyileştirme sağlanarak bu krediden 4 puan kazanılabilecekti.

Çizelge 4.8’de farklı ülkelere ait çevresel etki değerleri de görülmektedir. Örneğin seramik karo üretim sürecinde Tayland için belirlenen küresel ısınma potansiyeli Türkiye’ye göre çok yüksekken, İspanya’da daha düşüktür. Bu farklar sistem sınırlarıyla ilgili olduğu gibi ülkelerin malzeme üretim süreçlerinde kullandıkları tekniklerle ve teknolojilerle daha yakından ilişkilidir. Buradaki farklar, YDD’nin bölgesel adaptasyona bağlı olarak farklı sonuçlar verdiğini görmek açısından da iyi birer örnektir.

Grup 2 malzemeleri için Türkiye’de referans YDD verisi bulunmamaktadır. Grup 2 Set 1 değerlendirmeleri sonucu çevresel performansı en yüksek malzeme siding dış cephe kaplama malzemesi olarak belirlenmiştir. Bu malzeme için literatür taramasından ABD için sağlanan YDD verileri referans alınmıştır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.9’da görülmektedir.

Çizelge 4.9 Grup 2-Set 1 hesaplamalarından elde edilen iyileştirme oranları.

Yer	ABD	Mevcut Çalışma	İyileştirme Oranı
Sistem Sınırı	Beşikten mezara	Beşikten mezara	
Küresel Isınma	6,78 CO ₂ eşd. /m ²	6,33 CO ₂ eşd. /m ²	%6,59
Fosil Yakıt Tüketimi	0,16E+2 MJ	0,13E+2 MJ	%17,71
Ozon Tabakasının İncelmesi	0 kg CFC-11 eşd/ m ²	0 kg CFC-11 eşd/ m ²	%0
Ötrofikasyon	8,21E-3 kg N eşd./m ²	0 kg N eşd./m ²	%100
Kaynak	İnt. Kyn. 19		

Küresel ısınma çevresel etki kategorisinde referans değere göre %6,59, fosil yakıt tüketimi kategorisinde %17,71 iyileştirme sağlanmıştır. Ozon tabakasının incelmesi kategorisinde iyileştirme sağlanamadığından bu malzeme için ötrofikasyon çevresel etki kategorisinin iyileştirme oranına bakılmıştır. Ötrofikasyon kategorisinde %100 oranında iyileştirme oranı elde edilmiştir. Böylece Grup 2, Set 1 değerlendirmeleri için de 2 puan kazanılmaktadır.

Çevresel Ürün Beyanı (MR Kredi): Bu kredinin gerekliliklerinden olan ISO 14044’e (2006) uygun olarak en az beşikten kapıya YDD yapılmış malzemeler arasından seçim

yapılması şartı sağlanmaktadır. Ancak Türkiye’de yeşil bina sertifikası alma sürecinde EPD ile ilgili halen yanlış algı oluşabilmektedir. EPD belgeli malzeme her zaman çevresel performansı yüksek malzeme anlamına gelmemektedir. Malzemenin çevresel performansı düşük de olsa çevresel performansının bilinmesi sürdürülebilirliğini belirlemek açısından önemli bir detaydır. Ancak Türkiye’de EPD belgeli olmasına rağmen çevreci olmayan yapı malzemelerine sıkça rastlamak mümkün olmaktadır (Gökçen 2020).

Örneğin Türkiye’de üretilen EPD belgeli seramik karo bulunmaktadır (İnt. Kyn. 16). Çizelge 4.8’in ikinci satırında Türkiye’de üretilen EPD belgeli bir seramik karonun bilgilerine görülmektedir. YDD sonuçları, çalışma kapsamında elde edilen seramik karo YDD sonuçları ile yakındır. Yeşil bina danışmanları ile yapılan görüşmelerden elde edilen bilgilere göre, ISO 14044’e (2006) uygun şekilde gerçekleştirilen YDD sonuçları beyan edildiği takdirde LEED sertifikası değerlendirme sürecinde dikkate alınmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan YDD ISO 14044’e (2006) uygun şekilde gerçekleştirildiğinden çevresel ürün beyanları kredisi Seçenek 1’in gerekleri karşılanmakta ve 1 puan kazanılmaktadır.

Hammadde Temini (MR Kredi): Çalışma kapsamında oluşturulan proje modeli için bu kredinin başarı oranının iyileştirilmesi, çalışma kapsamının genişletilmesiyle mümkündür. Çünkü bu krediden puan kazanılması, kullanılan malzeme maliyetlerinin projenin genel maliyeti içindeki oranı ve malzemenin temin edildiği üreticinin sahip olması gereken niteliklerle ilgilidir. Bu çalışma, ekonomik performans değerlendirmesi ve üretici seçimine yönelik bir uygulama içermediğinden hammadde temini kredisi çalışma kapsamı dışında kalmaktadır. Bu nedenle bu kredinin iyileştirme oranı %0 olmaktadır.

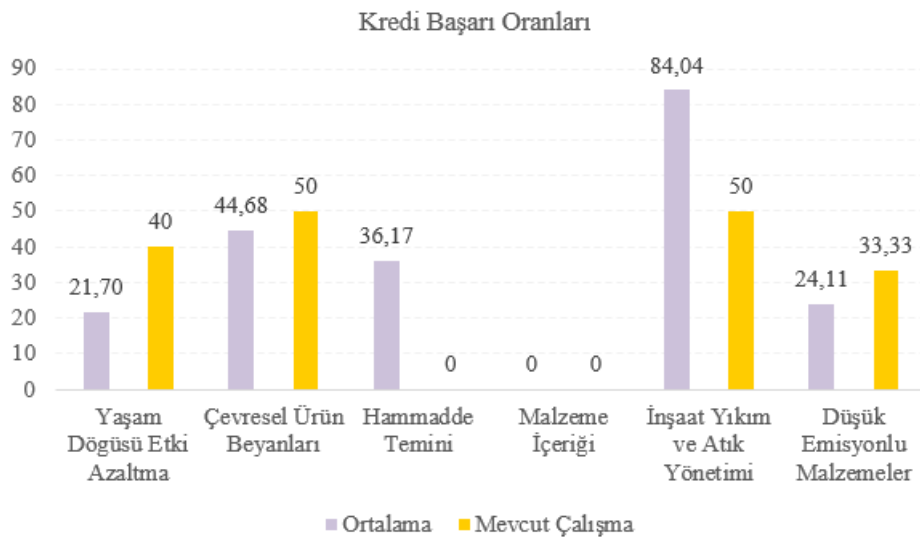
Malzeme İçeriği (MR Kredi): Hammadde temini kredisinde olduğu gibi proje modelinin malzeme içeriği kredisinin başarı oranını iyileştirmek mümkündür. Ancak bu kredinin iyileştirilmesi çalışma kapsamında kullanılan seçim modelinin kapsamı dışında kalmaktadır. Bu kredinin gerekliliklerinin sağlanması kullanılacak malzemenin kimyasal

içeriğinin beyan edilmesiyle ilişkilidir. Malzemenin kimyasal içerik beyanının da malzeme üreticisi tarafından, USGBC'nin belirlediği programlar kapsamında yapılması beklenmektedir. Bu kredide de iyileştirme sağlanamadığından puan kazanılamamaktadır.

İnşaat Yıkım ve Atık Yönetimi (MR Kredi): Bu kredinin amacı yapı malzemelerinden kaynaklanan atıkların önlenmesidir. Çalışmada, yaşam sonunda çöp sahasına atılacak olan malzemelerin en az %50'sinin Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'ne (2004) uygun olacak şekilde geri dönüştürüldüğü varsayılmaktadır. İnşaat yıkım ve atık yönetimi kredisinin derivasyon seçeneği karşılanarak 1 puan kazanılmaktadır.

Düşük Emisyonlu Malzemeler (EQ Kredi): Düşük emisyon kriteri iki malzeme kategorisinde sağlanarak 1 puan kazanılmaktadır. Taş, seramik, beton, tuğla gibi malzemeler doğası gereği emisyon yaymayan malzemelerdir. Seçilen seramik karo ve siding dış cephe kaplama malzemesinin her ikisi için de YDD hesaplamalarında iç mekan hava kalitesi VOC değeri sıfır olarak elde edilmiştir.

Bütün değerlendirmeler sonucu elde edilen kredi başarı oranları Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5 Değerlendirmeler sonucu elde edilen kredi başarı oranları.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda yaşam d değerlendirme, çevresel ürün beyanları, düşük emisyonlu malzemeler kredilerinde Türkiye ortalamasına göre kredi başarı oranlarının arttığı görülmektedir. Hammadde temini, malzeme içeriği ve inşaat yıkım ve atık yönetimi kredilerinde çalışmanın kapsamı gereği kredi başarı oranlarında artış sağlanamamaktadır. Bu kredilerin başarı oranlarını artırmak için çalışmanın kapsamının genişletilmesi gerekmektedir.

Yeşil bina danışmanları ile yapılan görüşmelerde, LEED yeşil bina sertifikası alma sürecinde danışmanlık verdikleri projelerin çoğunun malzeme ve kaynaklar kategorisinden az puan alındığı yönünde bilgi edinilmiştir. Bu nedenle malzeme seçim süreci dikkatle takip edilmesi gereken bir husus haline gelmektedir. Bu tez alışmasındanerilen yaklaşım çerçevesinin hem malzeme seçimini hem de pek çok yeşil malzeme alternatifinin varlığında karar vericilerin karar verme süreçlerini kolaylaştıracadışnlmektedir. Ayrıca yeşil bina sertifikası alma hedefi bulunan yapıların puan kazanmalarında etkili olacaktır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

İnşaat sektörü, sürdürülebilirlik uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Çalışma kapsamında ilgili bölümlerde sektörün sürdürülebilir kalkınmadaki yerine ve yapılarda sürdürülebilirliğe detaylı olarak değinilmiştir. Yeşil bina derecelendirme sistemleri yapıların sürdürülebilirliğinin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan araçlardır. Derecelendirme sistemlerinin hepsinde malzeme ve kaynaklar kategorisi yer almakta olup yapıda kullanılan malzemeler çeşitli kriterler bağlamında değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Bu noktada, sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi önemli bir karar problemi haline gelmektedir.

Bu çalışmada, bölgesel adaptasyonlu, aynı zamanda LEED yeşil bina derecelendirme sistemine uygun, puan kazanımının kontrol sürecini içeren sürdürülebilir malzeme seçim yaklaşımının çerçevesi kapsamlı bir şekilde çizilmeye çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- YDD'nin etki değerlendirmesi aşaması, uygulandığı bölgeye göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle YDD uygulamalarında güvenilir sonuçlar elde etmek için çalışmanın yürütüldüğü zaman ve mekan ölçeğiyle uyumlu olarak bölgesel adaptasyonların YDD çalışmalarına entegre edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamdan yürütülen çalışmalar sonucunda Türkiye için ağırlıklandırma ve normalleştirme değerleri hesaplanmıştır. Ağırlıklandırma değerlerinin elde edilmesinde Türkiye'deki sektör paydaşlarının görüşlerine başvurulmuştur. Normalleştirme değerlerinin elde edilmesinde Türkiye'nin envanter verileri kullanılmıştır. Türkiye için hesaplanan bu değerlerin teorik ve pratik açısından literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- Çalışmada, yapı malzemelerinin değerlendirme puanlarının hesaplandığı, kıyaslandıkları diğer alternatifler arasından değerlendirme puanlarına göre seçim yapıldığı bir yaklaşım önerilmektedir. Değerlendirme puanı hesaplamalarında malzemelerin yaşam döngüleri içerisinde, sistem sınırları dahilindeki emisyon verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışma kapsamında bu veriler BEES Online

veri tabanından alınmıştır. Türkiye’de üretilen yapı malzemelerinin yaşam döngüsü içindeki emisyon verilerinin temin edilmesinde güçlükler yaşanmaktadır. Ülkemizde yapı malzemelerinin çevresel bilgilerinin paylaşılması yönünde çalışmalar yapılması gerekmektedir.

- Çalışma kapsamında değerlendirilen yapı malzemelerinin belirlenmesinde yeşil bina danışmanlarının görüşlerinden yararlanılmıştır. Değerlendirme puanı hesaplamaları iki grup malzeme için üç farklı ağırlık ve normalleştirme seti kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada Grup 1, Set 1 değerlendirmesi olarak ifade edilen hesaplamalarda değerlendirme puanı en yüksek zemin kaplama malzemesi geri kazanılmış içerikli seramik karo olarak elde edilmiştir. Grup 2, Set 1 değerlendirmelerinde değerlendirme puanı en yüksek malzeme siding dış cephe kaplama malzemesi olarak belirlenmiştir.
- Önerilen sürdürülebilir yapı malzemesi seçim çerçevesinin birinci modülünde değerlendirilen malzemeler değerlendirme puanlarına göre sıralanmaktadır. İkinci modülde, karar vericinin seçtiği malzemenin projenin tamamını yansıttığı varsayımı ile LEED puan getirisi açısından uygunluk kontrolü yapılmaktadır.
- Uygunluk kontrolü ile LEED puanı ön değerlendirmesi, kredi başarı oranlarına göre belirlenmektedir. Kredi başarı oranları referans bilgisi Türkiye’deki LEED v4 BD+NC ve LEED v4.1 BD+NC sertifikalı 47 adet yapının puan kartları kullanılarak belirlenmiştir.
- Uygunluk kontrolü aşamasında, seçilen malzemenin kredi başarı oranlarının hesaplamasında referans bilgi olarak literatürden elde edilen malzeme YDD verileri kullanılmıştır. Türkiye’de üretilen yapı malzemelerinin YDD süreçlerine ilişkin kısıtlı referans bilgiye ulaşılabilmektedir. Bu nedenle çalışmada Grup 1, Set 1 hesaplamalarında, değerlendirme puanı en yüksek yapı malzemesi geri kazanılmış içerikli seramik karo olarak belirlenmesine rağmen kredi başarı oranı hesaplamaları, karar vericinin değerlendirme puanı bakımından üçüncü sırada yer alan seramik karo malzemesini seçtiği varsayımı ile yapılmıştır. Grup 2

malzemelerinin YDD süreçlerine ait Türkiye için referans bilgilere ulaşılamamıştır. Bu nedenle Grup 2, Set 1 hesaplaması sonucu değerlendirme puanı en yüksek olan siding dış cephe kaplama malzemesinin kredi başarı oranı hesaplamalarında referans bilgi olarak ABD için hesaplanmış değerler kullanılmıştır.

- Seramik karo malzemesinin değerlendirme puanı 300,99, siding dış cephe kaplama malzemesinin puanı 297,37 olarak belirlenmiştir. Aynı malzemeler için Set 2 ve Set 3 hesaplamalarında farklı değerlendirme puanları elde edilmiştir. Bu durum, yapı malzemelerinin üretim teknikleri ve üretim süreçlerinde kullanılan yöntemlerin ülkeye, bölgeye vb. farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır.
- Çalışmada örnek senaryo için seçilen malzemeler ile uygunluk kontrolü yapılan LEED v4.1 BD+NC kredilerinden yaşam döngüsü etki azaltma, çevresel ürün beyanları ve düşük emisyonlu malzemeler kredilerinin başarı oranlarında iyileştirme sağlanmıştır. Kredi başarı oranları sırasıyla %40, %50 ve %33,33 olarak belirlenmiştir.
- Hammadde temini, malzeme içeriği, inşaat yıkım ve atık yönetimi kredi başarı oranlarında çalışmada önerilen model kapsamında iyileştirme sağlanamamaktadır. Gelecekteki çalışmalar iyileştirme sağlanamayan kredileri de kapsayacak şekilde genişletilebilir.
- Çalışmanın ikinci modülü LEED yeşil bina derecelendirme sisteminin kredilerini esas almaktadır. Ancak oluşturulan çerçeve farklı yeşil bina derecelendirme sistemleri için uyarlanmaya açıktır. Gelecekte, Türkiye'nin yerel yeşil bina derecelendirme sistemi kredilerine göre çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Çalışma kapsamında referans yılı olarak 2018 yılı dikkate alınmıştır. Seçilen çevresel etki kategorilerinin ulusal ölçekteki verilerinin büyük bir kısmı Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanan çevresel göstergelerden temin edilebilmektedir. Bakanlık, her yıl iki önceki yıla ait bilgileri

paylaşmaktadır. Bu nedenle, bu ve benzer çalışmalarda seçilen referans yılı en az iki yıl öncesi olabilmektedir.

- ISO 14040 (2006) ve ISO 14044 (2006) uluslararası standartlarında tanımlanan YDD yaklaşımı ile bu çalışmada yapı malzemelerinin çevresel boyutları ele alınmış ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik ve sosyal boyutları ve etkileri, ISO 14040 (2006) ve ISO 14044 (2006) standartlarının kapsamı dışında kalmaktadır. Fakat farklı araçlarla yapılan ekonomik ve sosyal boyut değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar, ISO 14040 (2006) ve ISO 14044 (2006)'a göre uygulanan YDD sonuçları ile birleştirilebilir. Gelecekteki çalışmalarda Türkiye'de yapı malzemelerinin ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarının entegre edildiği çalışmalar yürütülebilir.
- Yapı malzemesinin çevresel performansının düşük veya yüksek olması başka bir değerlendirme kriteri olmakla birlikte, her iki durumda da malzemenin çevresel performansının bilinmesi, sürdürülebilirliğini belirlemek açısından önemli bir detaydır. Bir seçim problemi olarak ele alındığında, yapı malzemelerinin çevresel performanslarını kıyaslayarak seçim yapmak güvenilir bir yaklaşımdır. Bina ölçeğinde karşılaştırma yapılabilmesi için m² başına çevresel performansın belirlenebilmesi gerekmektedir. Henüz bu düzeyde bir çevresel performans belirlenemese de gelecekteki çalışmalar bu yönde yapılabilir.
- Türkiye'de yapı malzemelerinin YDD süreçlerini içeren bir değerlendirme aracı bulunmamaktadır. Üniversite, sanayi ve devletin yetkili mercilerinin işbirliği içerisinde hareket etmesiyle Türkiye'de üretilen, kullanılan, ihraç edilen yapı malzemelerine ait veri tabanları oluşturulmalıdır.

Bu çalışma kapsamında YDD tabanlı bir yaklaşım önerisi sunulmuştur. ISO 14040 standartına uyumlu olarak çalışmanın sonuçları hedef kitleye tavsiyeler şeklinde ortaya konmuştur. Karar verme sürecinde hedef kitledeki kişiler ve kuruluşlar proje yapısına, kurum kültürüne ve stratejilerine, proje dinamiklerine bağlı olarak sunulan tavsiyeleri tercihen uygulayabileceklerdir.

6. KAYNAKLAR

- Adams W M, 2006, The Future Of Sustainability: Re-Thinking Environment And Development In The Twenty-First Century. Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting, IUCN-Rep-2006-002, 18p.
- Aghazadeh E, Yildirim H, 2021, Assessment The Effective Parameters Influencing The Sustainable Materials Selection In Construction Projects From The Perspective Of Different Stakeholders, Materials Today: Proceedings, 43, 2443-2454, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.280.
- Akadiri P O, Olomolaiye P O, 2012, Development Of Sustainable Assessment Criteria For Building Materials Selection, Engineering, Construction and Architectural Management, 19, 6, 666-687, doi: 10.1108/09699981211277568.
- Akadiri P O, Olomolaiye P O, Chinyio E A, 2013, Multi-Criteria Evaluation Model For The Selection Of Sustainable Materials For Building Projects, Automation in Construction, 30, 113-125, doi: 10.1016/j.autcon.2012.10.004.
- Al-Huthaifi A A M M, Altan M F, 2021, Yapı Sektöründe Uygulanan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinde Karşılaşılan Sorunlara Çözüm Önerileri, MAS Journal of Applied Sciences, 6, 1, 194-210, doi: <https://doi.org/10.52520/masjaps.47>.
- Allen J G, Bernstein A, Cao X, Eitland E S, Flanigan S, Gokhale M, vd. 2017, The 9 Foundations Of A Healthy Building, Harvard: School of Public Health, R1.8, 36p.
- Alptekin O, 2014, Yapı Malzemesi Seçiminde Yöntem Araştırması ve Bir Model Önerisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 121s, Ankara.
- Alyüz B, Veli S, 2006, İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşikler ve Sağlık Üzerine Etkileri, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7, 2, 109-116.
- Anand C K, Amor B, 2017, Recent Developments, Future Challenges And New Research Directions In LCA Of Buildings: A Critical Review, Renewable And Sustainable

Energy Reviews, 67, 408-416, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.058.

Ansah R H, Sorooshian S, Bin Mustafa S, 2015, Analytic Hierarchy Process Decision Making Algorithm, Global Journal of Pure and Applied Mathematics, 11, 4, 2403-2410, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2175.6880>

Ashraf A, Butt A, Khalid I, Alam R U, Ahmad S R, 2019, Smog Analysis And Its Effect On Reported Ocular Surface Diseases: A Case Study of 2016 Smog Event of Lahore, Atmospheric Environment, 198, 257-264, doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.10.029.

Atılğan Türkmen B, Budak Duhbacı, T, Karahan Özbilen Ş, 2021, Environmental Impact Assessment Of Ceramic Tile Manufacturing: A Case Study In Turkey, Clean Techn Environ Policy, 23, 1295-1310, <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02035-w>

Aytekin O, Özdemir İ, Kuşan H, Tezcan Ö, 2012, İnşaat Proje Yatırımlarının Değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması, Engineering Sciences, 7, 1, 229-238, doi:10.12739/nwsaes.v7i1.5000066883.

Bakhoun E S, Brown D C, 2012, Developed Sustainable Scoring System For Structural Materials Evaluation, Journal Of Construction Engineering And Management, 138, 1, 110-119, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000412.

Başara Bora B, Çağlar Soytutan İ, Aygün A, Özdemir T A, Kulali B, Uzun S B, vd. 2018, Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2017, 288s, Sağlık Bakanlığı, Ankara.

Bauer M, Möslle P, Schwarz M, 2009, Green Building: Guidebook For Sustainable Architecture, Springer Science & Business Media, 209p, Stuttgart Germany.

Binalar ile Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği, 2017, Resmi Gazete, 23.12.2017, 30279.

Bishop P L, 2000, Pollution Prevention: A New Paradigm For Engineering Education, Belkin, S. (Ed.), Environmental Challenges, (505-515), Springer Dordrect.

- Bissoli-Dalvi M, Nico-Rodrigues E A, Alvarez C E de, Saelzer Fuica G E, Montarroyos D C G, 2016, The Sustainability Of The Materials Under The Approach Of ISMAS, Construction and Building Materials, 106, 357-363, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.030.
- Bovea M D, Díaz-Albo E, Gallardo A, Colomer F J, Serrano J, 2010, Environmental Performance Of Ceramic Tiles: Improvement Proposals, Materials & Design, 31, 1, 35-41, doi: 10.1016/j.matdes.2009.07.021.
- CACC (Climate and Clean Air Coalition), 2019, Mitigating Black Carbon And Other Pollutants From Brick Production, 15p.
- CACC (Climate and Clean Air Coalition), 2015, HFC Initiative, 2p.
- Chan A P C, Darko A, Olanipekun A O, Ameyaw E E, 2018, Critical Barriers To Green Building Technologies Adoption In Developing Countries: The Case Of Ghana, Journal of Cleaner Production, 172, 1067-1079, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.235.
- Chen Z S, Yang L L, Chin K S, Yang Y, Pedrycz W, Chang J P, vd. 2021, Sustainable Building Material Selection: An Integrated Multi-Criteria Large Group Decision Making Framework, Applied Soft Computing, 113, 107903, doi: 10.1016/j.asoc.2021.107903.
- Cooper J S, Fava J A, 2006, Life-Cycle Assessment Practitioner Survey: Summary Of Results, Journal of Industrial Ecology, 10, 4, 12-14.
- Coşgun N, Esin T, 2007, Betonarme Prefabrike Yapım Yöntemlerinin Çevresel Açidan Analizi, 12. Beton Prefabrikasyon Sempozyumu “Prefabrikasyonda Yenilikler Ve Eğitim”, 13 Kasım 2007, İstanbul.
- Cuadrado J, Zubizarreta M, Pelaz B, Marcos I, 2015, Methodology To Assess The Environmental Sustainability Of Timber Structures, Construction and Building Materials, 86, 149-158, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.109.

- ÇEDBİK, 2020, Yapı Malzemelerinde Sürdürülebilirlik Temelli En Son Gelişmeler, Riskler ve Fırsatlar Semineri, 2 Aralık 2020, Online.
- Çetin M, 2008, Ozon Tabakası, Ofm Fizik Öğretmenliği Alan Eğitiminde Araştırma Projesi Yıldız Teknik Üniversitesi, 29s.
- Çevre Mühendisleri Odası, 2021, Hava Kirliliği Raporu 2020, 158p.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Laboratuvar, Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı Hava Kalitesi İzleme Şube Müdürlüğü, Hava Kalitesi Bülteni Yıllık 2020, 26p.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021, Türkiye İklim Değişikliği 5.Bildirimi, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu için Türkiye'ye Yönelik Yıllık Bilgilendirici Envanter Raporu, 324p.
- Çevresel Göstergeler, 2020, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü.
- Darçın P, Balanlı A, 2018, Yapı Ürünlerinden Kaynaklanan Uçucu Organik Bileşiklerin Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi, MEGARON, 13, 4, 597-607, doi: 10.5505/MEGARON.2018.80958.
- Demirer G N, 2011, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-I: Yaşam Döngüsü Analizi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 44s.
- Deng X, Hu Y, Deng Y, Mahadevan S, 2014, Supplier Selection Using AHP Methodology Extended By D Numbers. Expert Systems With Applications, 41, 1, 156-167, doi: 10.1016/j.eswa.2013.07.018.
- Dimoudi A, Tompa C, 2008, Energy And Environmental Indicators Related To Construction Of Office Buildings, Resources, Conservation and Recycling, 53, 1, 86-95, doi: 10.1016/j.resconrec.2008.09.008.

- Duru M O, Koç İ, 2018, Yapı Üretim Faaliyetlerinde Yapı Malzemesi Kaynaklı Sorunların Tespiti, 2. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Çanakkale, 11-12 Ekim 2018, 900-908.
- EN 15804:2012+A2:2019, Sustainability of Construction Works. Environmental Product Declarations. Core Rules For The Product Category Of Construction Products, Brussels.
- EN 15978:2011, Sustainability Of Construction Works. Assessment Of Environmental Performance Of Buildings. Calculation Method, Brussels.
- Engin Y, Tarhan M, Kumbaracıbaşı S, 2013, Çimento Endüstrisinde Sürdürülebilir Üretim, Hazır Beton Kongresi, 21-23 Şubat 2013, İstanbul.
- Estokova A, Vilcekova S, Porhincak M, 2017, Analyzing Embodied Energy, Global Warming And Acidification Potentials Of Materials In Residential Buildings, Procedia Engineering, 180, 1675-1683, doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.330.
- European Comission, 1998, Workshop on Integrated Product Policy, Final Report, 118p.
- European Environment Agency, 2010, The European Environment State And Outlook 2010 Material Resources And Waste, 50p.
- European Environment Agency, 2019, Air Quality In Europe : 2019 Report, 104p.
- Farag M M, 2015, Quantitative Methods Of Materials Selection, Kutz M (Ed.), Mechanical Engineers' Handbook Fourth Edition (1-22), John Wiley & Sons Inc Hoboken, NJ, <https://doi.org/10.1002/9781118985960.meh115>, 4224p, USA.
- Fava J, Weston R F, 1993, A Conceptual Framework For Life Cycle Impact Assessment, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Florida, United States of America.
- Florez L, Castro-Lacouture D, 2013, Optimization Model For Sustainable Materials Selection Using Objective And Subjective Factors, Materials & Design, 46, 310-

321, doi: 10.1016/j.matdes.2012.10.013.

Frankl P, Rubik F, 2000, Life Cycle Assessment In Industry And Business: Adoption Patterns, Applications And Implications, Springer Science & Business Media, 280p, Rome Italy.

Gibbs D, O'Neill K, 2015, Building A Green Economy? Sustainability Transitions In The UK Building Sector, Geoforum, 59, 133-141, doi: 10.1016/j.geoforum.2014.12.004.

Giesekam J, Barrett J, Taylor P, Owen A, 2014, The Greenhouse Gas Emissions And Mitigation Options For Materials Used In UK Construction, Energy and Buildings, 78, 202-214, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.04.035.

Gloria T P, Lippiatt B C, Cooper J, 2007, Life Cycle Impact Assessment Weights To Support Environmentally Preferable Purchasing In The United States. Environmental Science & Technology, 41, 21, 7551-7557.

Govindan K, Madan Shankar K, Kannan D, 2016, Sustainable Material Selection For Construction Industry - A Hybrid Multi Criteria Decision Making Approach, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 55, 1274-1288, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.100.

Gökçe Ş, Aytekin O, Kuşan H, Zorluer İ, 2017, Sürdürülebilir Yapı Değerlendirme Sistemlerine Temel Olan Uluslararası Standartların Türk Standartları Üzerindeki Yansımaları, Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, 6-7 Ekim 2017, Samsun, 327-338.

Gökçe Ş, Aytekin O, Kuşan H, Zorluer İ, 2018, Türkiye’de Mevzuatlar ve Standartlar Açısından Sürdürülebilir Yapım, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 23, 3, 289-312.

Gökçen T, 2020, Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinde Yapı Malzemesi Alt Kategorisinin Araştırılması Ve Türkiye’deki Durum, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Bursa.

- Guinée J B, Gorée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, Oers L, vd. 2001, Life Cycle Assessment: An Operational Guide To ISO Standards, Final Report, 19p.
- Guinée J B, Heijungs R, Huppes G, Zamagni A, Masoni P, Buonamici R, vd. 2011, Life Cycle Assessment: Past, Present, And Future, Environmental Science & Technology, 45, 1, 90-96, doi: 10.1021/es101316v.
- Günaydın G, 2011, Sürdürülebilirlik Kapsamında Çevresel Ürün Bildirgelerinin Yapı Sektöründe Uygulanması: Türkiye İçin Öneri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s, İstanbul.
- Güner C, Gökşen F, Koçhan A, 2017, Sürdürülebilir Kalkınma Modeli İçin Çevre Duyarlı Yapılarda Malzeme Seçiminin İncelenmesi, Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi, 3, 2, 1-14.
- Hafeez K, Malak N, Zhang Y B, 2007, Outsourcing Non-Core Assets And Competences Of A Firm Using Analytic Hierarchy Process, Computers & Operations Research, 34, Operations Research and Outsourcing 12, 3592-3608, doi: 10.1016/j.cor.2006.01.004.
- Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 25406 Sayılı Resmi Gazete, 2004.
- Häfliger I F, John V, Passer A, Lasvaux S, Hoxha E, Saade M R M, Habert G, 2017, Buildings Environmental Impacts' Sensitivity Related To LCA Modelling Choices Of Construction Materials, Journal of Cleaner Production, 156, 805-816, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.052.
- Herczeg M, McKinnon D, Milios L, Bakas I, Klaassens E, Svatikova K, Widerberg O, 2014, Resource Efficiency In The Building Sector, (128), ECORYS.
- Hoekstra A Y, 2015, The Water Footprint Of Industry, Klemeš J J (Ed.), Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability (221-254), Butterworth-Heinemann, 559p, Oxford, doi: 10.1016/B978-0-12-799968-5.00007-5.

- Hunt R G, Franklin W E, 1996, LCA- How It Came About, The International Journal Of Life Cycle Assessment, 1, 1, 4-7, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02978624>.
- ISO 14025:2006, Environmental Labels And Declarations- Type III Environmental Declarations- Principles And Procedures, Brussels.
- ISO 14040:2006, Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework, Brussels.
- ISO 14044:2006, Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements And Guideline, Brussels.
- Jahan A, Ismail M Y, Sapuan S M, Mustapha F, 2010, Material Screening And Choosing Methods- A Review, Materials & Design, 31, 2, 696-705, doi: 10.1016/j.matdes.2009.08.013.
- Jensen A A, Hoffman L, Møller B T, Schmidt A, Christiansen K, Elkington J, van Dijk F, 1997, Life Cycle Assessment (LCA) - A Guide To Approaches, Experiences And Information Sources, European Environment Agency, 119p, United Kingdom.
- Jensen A A, Postlethwaite D, 2008, SETAC Europe LCA Steering Committee -The Early Years, Int J Life Cycle Assess, 13, 1-6, <https://doi.org/10.1065/lca2007.12.371>
- John G, Clements-Croome D, Jeronimidis G, 2005, Sustainable Building Solutions: A Review Of Lessons From The Natural World, Building and Environment, 40, 3, 319-328, doi: 10.1016/j.buildenv.2004.05.011.
- Jolanta H, Elzbieta S, 2022, On The Application Of Sustainable Building Materials In Geodesy And Civil Engineering, Materials Today: Proceedings, 57, Third International Conference on Aspects of Materials Science and Engineering , 701-704, doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.151.
- Jönbrink A K, Eric Melin H, 2008, How Central Authorities Can Support Ecodesign : Company Perspectives, Nordic Council of Ministers, 84p, Copenhagen.

- Karakurt Tosun E, 2009, Sürdürülebilirlik Olgusu Ve Kentsel Yapıya Etkileri, Paradoks Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi, 5, 2, 1-14.
- Karaman Öztaş S, 2014, Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 180s, İstanbul.
- Karaman Öztaş S, Tanaçan L, 2017, Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Geliştirilen Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Modelinin Sınanması, TÜBAV Bilim Dergisi, 10, 2, 65-76.
- Karbuz S, 2002, Sürdürülebilir Kalkınmanın Zaman Yolculuğu, İktisat İşletme ve Finans, 17, 198, 9-12, doi: 10.3848/iif.2002.198.1860.
- Keleş S Ş, 2021, Avrupa Yeşil Mutabakatı Mart 2021, İzmir Ticaret Odası, 6s.
- Khoshnava S M, Rostami R, Valipour A, Ismail M, Rahmat A R, 2018, Rank Of Green Building Material Criteria Based On The Three Pillars Of Sustainability Using The Hybrid Multi Criteria Decision Making Method, Journal of Cleaner Production, Sustainable Urban Transformations Towards Smarter, Healthier Cities: Theories, Agendas And Pathways, 173, 82-99, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.066.
- Kim T H, Chae C U, 2016, Environmental Impact Analysis Of Acidification And Eutrophication Due To Emissions From The Production Of Concrete, Sustainability, 8, 6, 1-20, doi: <https://doi.org/10.3390/su8060578>.
- Klöppfer W, 2006, The Role Of SETAC In The Development Of LCA, The International Journal of Life Cycle Assessment, 11, 1, 116-122, doi: <https://doi.org/10.1065/lca2006.04.019>.
- Klöppfer W, Grahl B, 2014, Life Cycle Assessment (LCA): A Guide To Best Practice, First Edition, John Wiley & Sons, 440p, Germany, doi: 10.1002/9783527655625.
- Laquidara-Carr D, 2021, World Green Building Trends 2021, SmartMarket Report,

Dodge Construction Network Research & Analytics, 80s.

Lélé S M, 1991, Sustainable Development: A Critical Review, *World Development*, 19, 6, 607-621, doi: 10.1016/0305-750X(91)90197-P.

Leonard M, Pisani-Ferry J, Shapiro J, Tagliapietra S, Wolff G B, 2021, The Geopolitics Of The European Green Deal, Policy Contribution, Bruegel.

Li H C, 2019, Smog And Air Pollution: Journalistic Criticism And Environmental Accountability In China, *Journal Of Rural Studies*, 92, 510-518, doi: 10.1016/j.jrurstud.2019.10.024.

Li L, Wang P, Wang H, Zhang M, 2012, Green Building Materials Evaluation And Empirical Research Based On The Regional Endowment, *AASRI Procedia*, 3, Conference On Modelling, Identification And Control, 381-386, doi: 10.1016/j.aasri.2012.11.060.

Lippiatt B C, 1999, Selecting Cost-Effective Green Building Products: BEES Approach. *Journal Of Construction Engineering And Management*, 125, 6, 448-455.

Lippiatt B C, 2007, Building For Environmental And Economic Sustainability Technical Manual And User Guide, National Institute Of Standards And Technology, 327p, United States of America.

Mahmoudkelaye S, Taghizade Azari K, Pourvaziri M, Asadian E, 2018, Sustainable Material Selection For Building Enclosure Through ANP Method, Case Studies in Construction Materials, 9, e00200, doi: 10.1016/j.cscm.2018.e00200.

Mannan M, Al-Ghamdi S G, 2022, Water Consumption And Environmental Impact Of Multifamily Residential Buildings: A Life Cycle Assessment Study, *Buildings*, 12, 1, 48, doi: <https://doi.org/10.3390/buildings12010048>.

Mansour A, Srebric J, Burley B J, 2007, Development Of Straw-Cement Composite Sustainable Building Material For Low-Cost Housing In Egypt, *Journal of Applied Sciences Research*, 3, 11, 1571-1580.

- Marzouk M, 2020, Fuzzy Monte Carlo Simulation Optimization For Selecting Materials In Green Buildings, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 28, 2, 95-104, doi: 10.3846/jeelm.2020.12087.
- Marzouk M, Abdelhamid M, Elsheikh M, 2013, Selecting Sustainable Building Materials Using System Dynamics And Ant Colony Optimization, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 21, 4, 237-247, doi: 10.3846/16486897.2013.788506.
- Marzouk M, Abdelkader E M, Al-Gahtani K, 2017, Building Information Modeling-Based Model For Calculating Direct And Indirect Emissions In Construction Projects, *Journal of Cleaner Production*, 152, 351-363, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.138.
- Marzouk M, Azab S, 2017, Analyzing Sustainability In Low-Income Housing Projects Using System Dynamics, *Energy and Buildings*, 134, 143-153, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.10.034.
- McCormack M, Treloar G J, Palmowski L, Crawford R, 2007, Modelling Direct And Indirect Water Requirements of Construction, *Building Research & Information*, 35, 2, 156-162, doi: 10.1080/09613210601125383.
- Mengarelli M, Neugebauer S, Finkbeiner M, Germani M, Buttol P, Reale F, 2017, End-Of-Life Modelling In Life Cycle Assessment- Material Or Product-Centred Perspective?, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22, 8, 1288-1301, doi: 10.1007/s11367-016-1237-z.
- Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2018, Asit Yağmurları Teknik Raporu, 206s.
- Moore J E, Mascarenhas A, Bain J, Straus S E, 2017, Developing A Comprehensive Definition Of Sustainability, *Implementation Science*, 12, 1, 110, doi: 10.1186/s13012-017-0637-1.
- Müller H S, Haist M, Vogel M, 2014, Assessment Of The Sustainability Potential Of Concrete And Concrete Structures Considering Their Environmental Impact,

Performance And Lifetime, Construction and Building Materials, Concrete Sustainability, 67, 321-337, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.039.

Napolano L, Menna C, Graziano S F, Asprone D, D'Amore M, de Gennaro R, Dondi M, 2016, Environmental Life Cycle Assessment Of Lightweight Concrete To Support Recycled Materials Selection For Sustainable Design, Construction and Building Materials, 119, 370-384, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.042.

Nicholson A L, Olivetti E A, Gregory J R, Field F R, Kirchain R E, 2009, End-of-life LCA Allocation Methods: Open Loop Recycling Impacts On Robustness Of Material Selection Decisions, 2009 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology 18-20 May 2009, Phoenix, 1-6, doi: 10.1109/ISSST.2009.5156769.

Nygren J, Antikainen R, 2010, Use Of Life Cycle Assessment (LCA) In Global Companies, Finnish Environment Institute, 32p.

Oberbacher B, Nikodem H, Klöpffer W, 1996, An Early Systems Analysis Of Packaging For Liquids, The International Journal of Life Cycle Assessment, 1, 2, 62-65, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02978644>.

OECD, 2003, Environmentally Sustainable Buildings: Challenges And Policies, Organisation for Economic Co-operation and Development, 194p, Paris

Ortiz O, Castells F, Sonnemann G, 2009, Sustainability In The Construction Industry: A Review Of Recent Developments Based On LCA, Construction and Building Materials, 23, 1, 28-39, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012.

Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Yönetmelik, 2017, Resmi Gazete, 07.04.2017, 30031.

Özdemir E, 2012, Mevzuat ve Yeşil Bina Sertifikaları Bağlamında Yapı Malzemelerinin Seçimi ve Türkiye İçin Gereklilikler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 199s, İstanbul.

- Özdemir Sağır M, 2002, Bir İşletmede Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Performans Değerleme Sistemi Tasarımı, Endüstri Mühendisliği, 13, 2, 2-11.
- Özel S, Türkel A, 2018, AHP Yöntemi Kullanarak ERP Sistemlerinin Karşılaştırılması ve Uygun Sistemin Belirlenmesi, Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 30, 3, 305-317, doi: 10.7240/marufbd.433785.
- Özmehmet E, 2005, Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Akdeniz İklim Tipi İçin Bir Bina Modeli Önerisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 216s, İzmir.
- Pacheco-Torgal F, Jalali S, 2011, Toxicity Of Building Materials: A Key Issue In Sustainable Construction, International Journal of Sustainable Engineering, 4, 3, 281-287, doi: 10.1080/19397038.2011.569583.
- Pacheco-Torgal F, Labrincha J A, 2013, The Future Of Construction Materials Research And The Seventh UN Millennium Development Goal: A Few Insights, Construction and Building Materials, Special Section on Recycling Wastes for Use as Construction Materials, 40, 729-737, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.007.
- Passer A, Lasvaux S, Allacker K, De Lathauwer D, Spirinckx C, Wittstock B, vd. 2015, Environmental Product Declarations Entering The Building Sector: Critical Reflections Based On 5 To 10 Years Experience In Different European Countries, The International Journal of Life Cycle Assessment, 20, 9, 1199-1212, doi: 10.1007/s11367-015-0926-3.
- Patil M, Boraste S, Minde P, 2022, A Comprehensive Review On Emerging Trends In Smart Green Building Technologies And Sustainable Materials, Materials Today: Proceedings, In Press, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.866.
- Peck R A, 2011, Green Building Performance A Post Occupancy Evaluation of 22 GSA Buildings, GSA Public Buildings Service, 24p.
- Peng J, Zhao Y, Jiao L, Zheng W, Zeng L, 2012, CO₂ Emission Calculation and

Reduction Options In Ceramic Tile Manufacture-The Foshan Case, *Energy Procedia*, 16, International Conference on Future Energy, Environment, and Materials , 467-476, doi: 10.1016/j.egypro.2012.01.076.

Quinteiro P, Almeida M, Dias A C, Araújo A, Arroja L, 2014, The Carbon Footprint of Ceramic Products, Muthu S S (Ed.), *Assessment Of Carbon Footprint In Different Industrial Sectors* (113-150), Springer, 297p, Singapore, doi: 10.1007/978-981-4560-41-2_5.

Rahman M M, Rahman M A, Haque M M, Rahman A, 2019, Sustainable Water Use In Construction, Tam V W Y, Le K N (Ed.), *Sustainable Construction Technologies* (211-235), Butterworth-Heinemann, 476p, doi: 10.1016/B978-0-12-811749-1.00006-7.

Reap J, Roman F, Duncan S, Bras B, 2008, A Survey Of Unresolved Problems In Life Cycle Assessment, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 4, 290, doi: 10.1007/s11367-008-0008-x.

Ryberg M, Vieira M D M, Zgola M, Bare J, Rosenbaum R K, 2014, Updated US And Canadian Normalization Factors For TRACI 2.1, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16, 2, 329-339, doi: 10.1007/s10098-013-0629-z.

Saaty R W, 1987, The Analytic Hierarchy Process- What It Is And How It Is Used, *Mathematical Modelling*, 9, 3, 161-176, doi: 10.1016/0270-0255(87)90473-8.

Saaty T L, 2001, Fundamentals Of The Analytic Hierarchy Process, Schmoldt D L, Kangas J, Mendoza G A, Pesonen M (Ed.), *The Analytic Hierarchy Process In Natural Resource And Environmental Decision Making* (15-35), Springer Dordrecht, 307p, Netherlands, doi: 10.1007/978-94-015-9799-9_2.

Saaty T L, 2008, Relative Measurement And Its Generalization In Decision Making Why Pairwise Comparisons Are Central In Mathematics For The Measurement Of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process, *RACSAM - Revista de La Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. Serie A*.

- Matematicas, 102, 2, 251-318, doi: 10.1007/BF03191825.
- Saghafi M D, Hosseini Teshnizi Z S, 2011, Recycling Value Of Building Materials In Building Assessment Systems, *Energy and Buildings*, 43, 11, 3181-3188, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.08.016.
- Sahlol D G, Elbeltagi E, Elzoughiby M, Abd Elrahman M, 2021, Sustainable Building Materials Assessment And Selection Using System Dynamics, *Journal of Building Engineering*, 35, 101978, doi: 10.1016/j.jobbe.2020.101978.
- Samani P, Mendes A, Leal V, Miranda Guedes J, Correia N, 2015, A Sustainability Assessment Of Advanced Materials For Novel Housing Solutions, *Building and Environment*, 92, 182-191, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.04.012.
- Sandanayake M, Gunasekara C, Law D, Zhang G, Setunge S, Wanijuru D, 2020, Sustainable Criterion Selection Framework For Green Building Materials- An Optimisation Based Study Of Fly-Ash Geopolymer Concrete, *Sustainable Materials and Technologies*, 25, e00178, doi: 10.1016/j.susmat.2020.e00178.
- Sartori I, Hestnes A G, 2007, Energy Use In The Life Cycle Of Conventional And Low-Energy Buildings: A Review Article, *Energy and Buildings*, 39, 3, 249-257, doi: 10.1016/j.enbuild.2006.07.001.
- Sjostrom C, Bakens W, 1999, CIB Agenda 21 For Sustainable Construction: Why, How And What, *Building Research & Information*, 27, 6, 347-353, doi: 10.1080/096132199369174.
- Soni A, Das P K, Hashmi A W, Yusuf M, Kamyab H, Chelliapan S, 2022, Challenges And Opportunities Of Utilizing Municipal Solid Waste As Alternative Building Materials For Sustainable Development Goals: A Review, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 27, 100706, doi: 10.1016/j.scp.2022.100706.
- Stanaszek-Tomal E, 2021, Anti-Smog Building And Civil Engineering Structures, *Processes*, 9, 8, 1446, doi: <https://doi.org/10.3390/pr9081446>.

- Streimikiene D, Skulskis V, Balezentis T, Agnusdei G P, 2020, Uncertain Multi-Criteria Sustainability Assessment Of Green Building Insulation Materials, Energy and Buildings, 219, 110021, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110021.
- Sür A, Sür Ö, 1988, Hava Kirliliği, Coğrafya Araştırmaları Dergisi, 11, 15-23.
- Şimşek E P, 2012, Sürdürülebilirlik Bağlamında Yeşil Bina Olma Kriterleri “Kağıthane Ofispark Projesi Örneği”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 139s, İstanbul.
- Teksöz G, 2014, Geçmişten Ders Almak: Sürdürülebilir Kalkınma İçin Eğitim, Boğaziçi Üniversitesi Eğitim Dergisi, 31, 2, 73-97.
- Temiz Hava Hakkı Platformu, 2020, Kara Rapor 2020: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, 108s.
- Temiz Hava Hakkı Platformu, 2021, Kara Rapor 2021: Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri, 92 s.
- Thormark C, 2006, The Effect Of Material Choice On The Total Energy Need And Recycling Potential Of A Building, Building and Environment, 41, 8, 1019-1026, doi: 10.1016/j.buildenv.2005.04.026.
- Tıkansak Karadayı T, Coşgun N, 2021, Betonun Yaşam Döngüsü Sürecinde Çevresel Etkilerini Azaltan Yaklaşımlar, Sürdürülebilir Çevre Dergisi, 1, 1, 1-6.
- Tikul N, Srichandr P, 2010, Assessing the Environmental Impact Of Ceramic Tile Production In Thailand, Journal of the Ceramic Society of Japan, 118, 1382, 887-894, doi: 10.2109/jcersj2.118.887.
- Tufan M Z, Özel C, 2018, Sürdürülebilirlik Kavramı Ve Yapı Malzemeleri İçin Sürdürülebilirlik Kriterleri, Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 2, 1, 6-13.
- Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği, 2021, Türkiye İMSAD Yapı Sektörü

Raporu 2020, 204s.

TÜİK, 2019a, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları 2018, 30709, 2s.

TÜİK, 2019b, Belediye Su İstatistikleri 2018, 30668, 2s.

TÜİK, 2020a, Hayat Tabloları 2017-2019, 33711, 2s.

TÜİK, 2020b, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri 1990-2019, 37196, 2s.

TÜSAP, 2020, Ulusal ve Uluslararası Ölçekte Sağlık Finansmanında Hastalık Yüğü Sağlık Finansmanı Raporu, 86s.

Tüzemen A, Özdağoğlu A, 2007, Doktora Öğrencilerinin Eş Seçiminde Önem Verdikleri Kriterlerin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Belirlenmesi, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 21, 1, 215-232.

UN, 1987, Brundtland Report Our Common Future Report Of The World Commission On Environment and Development, A/42/427, 374p.

UN, 1992, Agenda 21, United Nations Conference On Environment & Development, 3-14 Haziran 1992, Rio de Janeiro, Brazil, 1-351.

UN, 2018, Department Of Economic And Social Affairs, Population Division, The World's Cities in 2018-Data Booklet, 34p.

UN, 2021, Department Of Economic And Social Affairs, Population Division, Global Population Growth And Sustainable Development, 124p.

UNEP, 2003, Sustainable Building And Construction: Facts And Figures, Ind Environ, 26, 2-3, 5-8.

USGBC, 2020, 1, U.S. Green Building Council, 274p, United States of America.

Uygunoğlu T, Sertyeşilişik P, Topçu İ B, 2021, Methodology For The Evaluation Of The Life Cycle In Research On Cement-Based Materials, Brito J, Thomas C, Medina

- C, Agrela F (Eds.), Waste and Byproducts in Cement-Based Materials (601-615), Woodhead Publishing, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820549-5.00022-X>
- Venkatarama Reddy B V, Jagadish K S, 2003, Embodied Energy Of Common And Alternative Building Materials And Technologies, *Energy and Buildings*, 35, 2, 129-137, doi: 10.1016/S0378-7788(01)00141-4.
- Wang Y M, Liu J, Elhag T M S, 2008, An Integrated AHP-DEA Methodology For Bridge Risk Assessment, *Computers & Industrial Engineering*, 54, 3, 513-525, doi: 10.1016/j.cie.2007.09.002.
- Weißberger M, Jensch W, Lang W, 2014, The Convergence Of Life Cycle Assessment And Nearly Zero-Energy Buildings: The Case Of Germany, *Energy and Buildings*, 76, 551-557, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.028.
- WHO, 2018, WHO Methods And Data Sources For Global Burden Of Disease Estimates 2000-2016, 49s.
- Williams J, Koppmann R, 2007, Volatile Organic Compounds In The Atmosphere: An Overview, Koppmann R (Ed.), *Volatile Organic Compounds In The Atmosphere*, (1-32), John Wiley & Sons, Ltd, doi: 10.1002/9780470988657.ch1.
- Willis A M, 1998, Concrete And Not So Concrete Impacts, EcoDesign Foundation, 1-13.
- Xia B, Zuo J, Skitmore M, Pullen S, Chen Q, 2013, Green Star Points Obtained By Australian Building Projects, *Journal of Architectural Engineering*, 19, 302-308, doi: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000121.
- Yang J, Ogunkah I C B, 2013, A Multi-Criteria Decision Support System For The Selection Of Low-Cost Green Building Materials and Components, *Journal of Building Construction and Planning Research*, 1, 4, 89-130, doi: 10.4236/jbcpr.2013.14013.
- Yaralıoğlu K, 2001, Performans Değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Proses, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16, 1, 129-142.

Yiğit S, 2004, Göllerde Ötrofikasyon Problemleri ve Çözüm Yolları, Mavi Gezegen Popüler Yerbilim Dergisi, 9, 32-36.

Zorlu K, Tıkansak Karadayı T, 2020, İç Mekan Hava Kalitesinde Yapı Malzemelerinin Rolü, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5, 2, 193-211, doi: <https://doi.org/10.33484/sinopfbd.642692>.

İnternet Kaynakları

1. <http://www.abyesilmutabakati.com>, 24.02.2022
2. cedbik.org, 03.03.2022
3. <https://www.worldgbc.org/news-media/business-case-green-building-review-costs-and-benefits-developers-investors-and-occupants>, 15.03.2022
4. <http://www.breeam.com/>, 10.10.2021
5. <https://www.usgbc.org/>, 30.11.2022
6. <https://ws680.nist.gov/>, 29.07.2022
7. <https://auzef.istanbul.edu.tr/tr/content/ogrenme-sureci/ders-materyalleri>, 07.02.2022
8. <https://worldgbc.org/clean-air-buildings/causes>, 08.02.2022
9. <https://data.worldbank.org/indicator/>, 12.02.2022
10. <https://tua.gov.tr/tr/blog/dunya/dunya-nin-atmosferi-ve-katmanlari>, 06.02.2022
11. www.mgm.gov.tr, 06.02.2022
12. <https://www.ceip.at/data-viewer>, 14.01.2023
13. www.greenpeace.org, 15.11.2021
14. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kiyi-ve-deniz-sularindaki-besin-maddeleri-i-91719>, 26.01.2021
15. <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/index.html>, 17.12.2021
16. epdturkey.org, 24.11.2022
17. www.ibu-epd.com, 29.11.2022
18. www.tcnatile.com, 29.11.2022
19. <https://www.vinylsiding.org/>, 30.11.2022

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :

Doğum Yeri ve Tarihi :

Yabancı Dili :

İletişim (Telefon / e-posta) :

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :

Lisans :

Yüksek Lisans :

Doktora :

Çalıştığı Kurum ve Yıl :

EKLER

EK 1 EPD tipleri ile zorunlu ve isteğe bağlı unsurları (EN 15804:2012+A2 2019).

YAPI DEĞERLENDİRME BİLGİLERİ																		
YAPI YAŞAM DÖNGÜSÜ BİLGİLERİ															Yapı Kullanım Ömrü Sonrası Ek Bilgiler			
A1-A3 Yapı Malzemesi Üretim Aşaması			A4-A5 Yapım Aşaması		B1-B7 Kullanım Aşaması							C1-C4 Yaşam Sonu Aşaması				D Sistem Sınırı Dışındaki Faydalar ve Yükler		
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D		
Ham madde temini	Nakliye	İmalat	Nakliye	Yapım-kurulum işlemleri	Kullanım	Bakım	Onarım	Değişirme	Yenileme	İşletme enerjisi kullanımı	İşletme suyu kullanımı	Yapı söküm/ Yıkım	Nakliye	Atık işleme	Bertaraf	Yeniden Kullanım Geri Dönüşüm Geri Kazanım		
			Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo	Senaryo		
C1 ila C4 ve D dahil, kaynaktan imalat sonuna	Z	Z	Z									Z	Z	Z	Z	Z		
C1 ila C4 ve D dahil, isteğe bağlı unsurlar da içeren kaynaktan imalat sonuna	Z	Z	Z	İB	İB	İB	İB	İB	İB	İB	İB	Z	Z	Z	Z	Z		
D dahil, kaynaktan yaşam sonuna	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z		
Kaynaktan imalat sonuna	Z	Z	Z															
İsteğe bağlı unsurlar da içeren kaynaktan imalat sonuna	Z	Z	Z	İB	İB													

İB: İsteğe bağlı
Z: Zorunlu

EK 2 Çevresel ürün beyanı raporlaması (USGBC 2020).

LEED v4.1 BD+C: NC Çevresel Ürün Beyanı- EPD (MR Kredi) raporlaması, en az on ürün için aşağıdaki kriterlerden birine uygun olmalı, en az üç farklı üreticiden temin edilmelidir.

Rapor Tipi	Optimizasyon Raporu		
	İçin Referans Belge(ler)	Rapor Doğrulama	Değerlendirme
Gömülü karbon/ YDD eylem planı	Malzemeye özel YDD veya malzemeye özel Tip III EPD	Üretici tarafından hazırlanır ve şirket yetkilisi tarafından imzalanır.	½ malzeme veya %50 maliyet
Gömülü karbonda azalma: Referans değerine göre küresel ısınma potansiyelinde <%10 azalma	Referans: Malzemeye özel YDD, malzemeye özel Tip III EPD veya endüstri çapında Tip III EPD		1 malzeme veya %100 maliyet
Gömülü karbonda azalma: Referans değerine göre küresel ısınma potansiyelinde %10+ azalma	Optimizasyon: Malzemeye özel YDD, malzemeye özel Tip III EPD	Karşılaştırmalı analiz bağımsız bir tarafça doğrulanır.	1,5 malzeme veya %150 maliyet
Gömülü karbonda azalma: Referans değerine göre küresel ısınma potansiyelinde %20+ azalma, iki etki kategorisinde daha %5+ azalma	Referans: Malzemeye özel YDD, malzemeye özel Tip III EPD Optimizasyon: Malzemeye özel YDD, malzemeye özel Tip III EPD		2 malzeme veya %200 maliyet

EK 3 Malzeme içeriği raporlaması (USGBC 2020).

LEED v4.1 BD+C: NC Malzeme İçeriği (MR Kredi) raporlamasında aşağıdaki tablo kullanılmalıdır.

Rapor Tipi	Ürün Belgeleri	Rapor Doğrulama	Değerlendirme
Malzeme İçerik		Üretici tarafından	
Tarama ve Optimizasyon Eylem Planı	Eylem Planı	hazırlanır ve şirket yetkilisi tarafından imzalanır.	½ malzeme veya %50 maliyet
	Cradle to Cradle Sertifikası veya Bronz seviye Malzeme Sağlık Sertifikası		
	Red List Free veya LBC Red List Free etiketleri		
İleri Envanter ve Değerlendirme	Optimizasyon ve doğrulama kriterlerini karşılayan Sağlık Ürün Beyanı (Health Product Declaration)	Üçüncü taraflarca doğrulanmış	1 malzeme veya %100 maliyet
	Red List Free veya LBC Red List Free etiketleri içeren Living Product Challenge sertifikalı ürünler		
	Optimizasyon ve doğrulama kriterlerini karşılayan Üretici Envanteri		

EK 4 Disability-Adjusted Life Year

Dünya Sağlık Örgütü metodolojisine göre DALY, erken ölüm nedeniyle kaybedilen zamanın ve engelli olarak geçirilen zamanın toplanmasıyla elde edilen bir ölçüttür (WHO 2018). Bir engelliğe göre ayarlanmış yaşam yılı (bir DALY), sağlıklı yaşamdan yitirilen bir yılı ifade etmektedir. DALY hesaplaması aşağıdaki gibi yapılmaktadır:

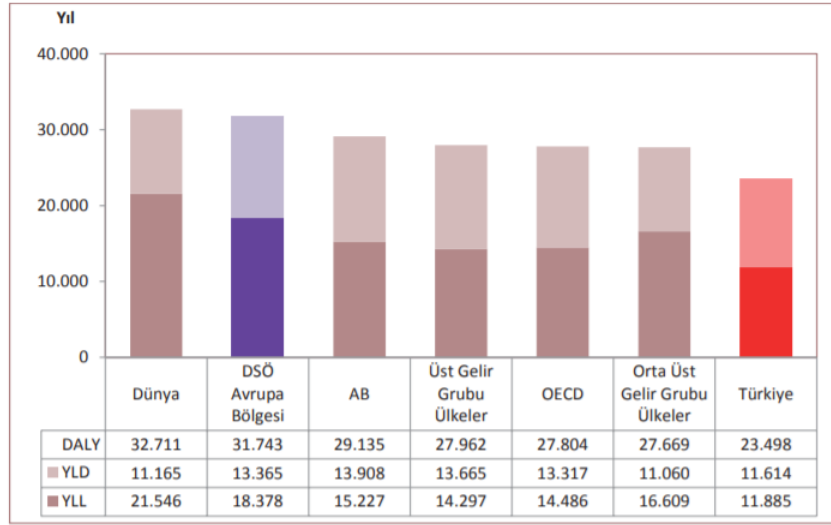
$DALY = \text{Erken ölüm sebebiyle kaybedilen yaşam yılı [Years of life lost (YLL)]} + \text{Engellilikle geçirilen yaşam yılı [Years of life with disabilities (YLD)]}$

YLL, erken ölüme bağlı olarak kaybedilen yılları ifade etmektedir. Hesaplama yapılırken ölüm sayıları ve standart beklenen yaşam süresini esas alınmaktadır. Örneğin bir toplumda beklenen yaşam süresi 75 yıl ise ancak kişi 70 yaşında ölmüşse YLL değeri 5 olacaktır (TÜSAP 2020).

YLD, sağlık ve iyilik halinden kayba bağlı olarak kaybedilen yılları ifade etmektedir. Örneğin 70 yaşında ölen kişiye 50 yaşında KOAH tanısı konmuşsa bu kişinin YLD değeri 20 olacaktır (TÜSAP 2020).

DALY değerinin bir birey için hesaplaması kolay olmasına rağmen milyonlarla ifade edilen nüfus için hesaplanması oldukça zor ve karmaşık hale gelmektedir.

Washington Üniversitesi Sağlık Ölçümleri Değerlendirme Enstitüsü (Institute for Health Metrics and Evaluation, IHME) 195 ülke, 21 bölge ve 7 süper bölgenin sağlık profilini ve sağlık profilindeki değişiklikleri değerlendirmek için 2017 yılında Küresel Hastalık Yüğü Çalışması'nı yürütmüştür (Başara Bora vd. 2018). 100 000 kişiye düşen DALY, YLL ve YLD'nin uluslararası karşılaştırması aşağıdaki grafikte görülmektedir (Başara Bora vd. 2018).



EK 5 Soru formu.

SORU FORMU

Sayın katılımcı,

Bu soru formu Afyon Kocatepe Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yürütülen bir doktora tez çalışması için veri elde etmek amacıyla hazırlanmıştır. İlgili tez Prof. Dr. İsmail ZORLUER ve Dr. Öğr. Üyesi Osman AYTEKİN danışmanlığında yürütülmektedir.

Soru formu 2 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümün amacı; yapı malzemelerinin çevresel performansları açısından değerlendirilebilmesi için verilen çevresel etki kategorilerinin oranlarının belirlenmesi ve bu çevresel etki kategorileri haricinde, varsa Türkiye şartlarında ele alınabilecek çevresel etki kategorilerinin belirlenmesidir. İkinci bölümün amacı ise, tez çalışması kapsamında kurulması planlanan seçim modeli için bilgi sağlamaktır.

Paylaşacağınız bütün bilgiler, yalnızca bilimsel amaçla kullanılacak olup kesinlikle üçüncü kişilerle paylaşılmayacaktır.

İlgili doktora tez çalışmasının önemli bir kısmını oluşturan bu soru formuna değerli zamanınızı ayırarak katıldığınız ve çalışmaya katkı sunduğunuz için teşekkür ederiz.

Şerife AK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü

sgokce@aku.edu.tr

EK 5 (Devam) Soru formu.

BÖLÜM - 1

Bu bölümde kısa, orta ve uzun vadede oransal olarak ağırlıklandırmanız istenen 12 adet çevresel etki kategorisi bulunmaktadır. Yapı malzemelerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin çoğunlukla bu 12 çevresel etki kategorisi üzerinde olduğu düşünülmektedir.

Çevresel performans değerlendirmesi ISO 14040 standardında tanımlanmış olan yaşam döngüsü değerlendirme yaklaşımına göre yapmaktadır. Çevresel etki kategorileri sırasıyla; küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon, fosil yakıt tüketimi, iç mekan hava kalitesi, yaşam alanı değişikliği, su tüketimi, hava kirliliği, fotokimyasal sis oluşumu, ekolojik zehirlilik, ozon tabakasının incilmesi ve insan sağlığı şeklinde isimlendirilmiştir. Her bir çevresel etki kategorisine ait bilgiler aşağıdaki tabloda açıklama sütunu altında sunulmaktadır.

Bu çevresel etki kategorilerinin göreceli önem ağırlıklarını kısa vadede, orta vadede ve uzun vadede olmak üzere aşağıdaki tabloda işaretleyebileceğiniz gibi tek değer şeklinde de yazabilirsiniz.

Etki Kategorisi Adı	Göreceli Önem Ağırlıkları			Açıklama
	Kısa Vadede (0-10 yıl arası) (%)	Orta Vadede (10-100 yıl arası) (%)	Uzun Vadede (>100 yıl) (%)	
Küresel Isınma	0-10	0-10	0-10	Güneşten gelen radyasyon dünya tarafından absorbe edilmektedir. Daha sonra bu enerji atmosfer ve okyanuslar tarafından yeniden dağıtılmaktadır. Atmosferde biriken sera gazlarının varlığında, atmosferden yansıyan enerji sera gazları tarafından tutulmaktadır. Uzaya gidemeyen ışınlar atmosferde tutularak dünyanın etrafını bir battaniye gibi sarmaktadır. Bu olay sera etkisi olarak bilinmektedir. Sera etkisi doğal bir olaydır. Çevresel sorun, insanlar tarafından atmosfere salınan sera gazlarından kaynaklanmaktadır. Sera etkisine bağlı olarak dünya yüzeyindeki sıcaklığın artması küresel ısınma veya iklim değişikliği olarak adlandırılmaktadır.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	

EK 5 (Devam) Soru formu.

Etki Kategorisi Adı	Göreceli Önem Ağırlıkları			Açıklama
	Kısa Vadede (0-10 yıl arası) (%)	Orta Vadede (10-100 yıl arası) (%)	Uzun Vadede (>100 yıl) (%)	
Asitleşme	0-10	0-10	0-10	Asitleşme bir bölgede çevreye nitrik asit, sülfirik asit gibi asitlerin artmasına bağlı olarak hidrojen (H+) iyonlarının artmasıyla gerçekleşmektedir. Asitleştirici bileşikler gaz halinde, suda çözünmüş halde veya katı parçacıklar üzerinde sabitlenmiş olarak bulunabilmektedir. Yağmurda veya suda çözünerek ekosisteme dahil olmaktadır. Asitleşme ağaçları, toprağı, binaları, yapı malzemelerini, hayvanları ve insanları etkilemektedir. İnsanlar tarafından fosil yakıt ve biokütle yakılmasıyla açığa çıkmaktadır. Hidrojen klorür ve amonyak gibi insan kaynakları tarafından salınan diğer bileşikler de asitleşmeye katkıda bulunmaktadır.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	
Ötrofikasyon	0-10	0-10	0-10	Ötrofikasyon, toprağı veya suya mineral besinlerin eklenmesidir. Toprağı ve suya, azot ve fosfor gibi büyük miktarlarda mineral besleyicinin eklenmesi, ekosistemlerdeki türlerin sayısında istenmeyen değişikliklere ve ekolojik çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır. Azot ve fosfor, bitkilerin gelişiminde önemli rol oynamasına rağmen bu maddelerin aşırı salınımı, taşınmaları sırasında su yolları üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Özellikle fosfor tatlı su gölleri ve akarsular üzerinde daha olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu besleyicilerin suda, alglerin oluşmasını artırma eğiliminden dolayı oksijen eksikliğine ve dolayısıyla balık gibi türlerin ölümüne neden olmaktadır.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	

EK 5 (Devam) Soru formu.

Etki Kategorisi Adı	Göreceli Önem Ağırlıkları			Açıklama
	Kısa Vadede (0-10 yıl arası) (%)	Orta Vadede (10-100 yıl arası) (%)	Uzun Vadede (>100 yıl) (%)	
Fosil Yakıt Tüketimi	0-10	0-10	0-10	Fosil yakıt türleri kontrolsüz ve fazla kullanıldığında çevresel riskler oluşturmaktadır. Fosil yakıt kullanılması sonucunda ortaya çıkan atıklar çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Hava, toprak ve su kirliliğine neden olan fosil yakıt tüketimi doğal kaynakların azalmasını da beraberinde getirmektedir.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	
İç Mekan Hava Kalitesi	0-10	0-10	0-10	Yapı malzemeleri yapıların bütününde iç mekan hava kalitesine önemli etkilere sahiptir. Bir ürünün toplam uçucu organik bileşik emisyonları genellikle iç mekan hava kalitesinin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	

EK 5 (Devam) Soru formu.

Etki Kategorisi Adı	Göreceli Önem Ağırlıkları			Açıklama
	Kısa Vadede (0-10 yıl arası) (%)	Orta Vadede (10-100 yıl arası) (%)	Uzun Vadede (>100 yıl) (%)	
Yaşam Alanı Değişikliği	0-10	0-10	0-10	Yaşam alanı değişikliği etkisi, insanların arazi kullanımının tehdit ve tehlike altındaki türlerin zarar görme potansiyeline etkisini ölçmektedir.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	
Su Tüketimi	0-10	0-10	0-10	Bu etki, yalnızca suyun tükenmesi açısından ele alınmaktadır. Tarımsal üretim gibi faaliyetlerin su kirliliğine neden olması durumu burada kapsam dışı tutulmaktadır.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	

EK 5 (Devam) Soru formu.

Etki Kategorisi Adı	Göreceli Önem Ağırlıkları			Açıklama
	Kısa Vadede (0-10 yıl arası) (%)	Orta Vadede (10-100 yıl arası) (%)	Uzun Vadede (>100 yıl) (%)	
Hava Kirliliği	0-10	0-10	0-10	Hava kirleticileri havada yaygın olarak bulunan katı ve sıvı parçacıklardan oluşmaktadır. Yanma, taşıt kullanımı, elektrik üretimi, malzeme taşıma, kırma ve öğütme işlemleri dahil olmak üzere birçok faaliyetten kaynaklanmaktadır. Hava kirliliği yaratan katı ve sıvı parçacıklar astım gibi solunum hastalıklarını kötü etkileyen kaba partiküller ile daha ciddi solunum semptom ve hastalıklarına yol açan ince partikülleri içermektedir.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	
Fotokimyasal Sis Oluşumu	0-10	0-10	0-10	Endüstriden ve taşımacılıktan kaynaklanan hava emisyonları bazı koşullarda zemin seviyesinde birikmekte ve hava kirliliği oluşturacak şekilde güneş ışığı ile reaksiyona girmektedir. Fotokimyasal sis insan sağlığı ve bitki örtüsü üzerinde zararlı etkilere yol açmaktadır.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	

EK 5 (Devam) Soru formu.

Etki Kategorisi Adı	Göreceli Önem Ağırlıkları			Açıklama
	Kısa Vadede (0-10 yıl arası) (%)	Orta Vadede (10-100 yıl arası) (%)	Uzun Vadede (>100 yıl) (%)	
Ekolojik Zehirlilik	0-10	0-10	0-10	Ekolojik zehirlilik etkisi, çevreye salınan kimyasalların kara ve su ekosistemlerine zarar verme potansiyelinin ölçülmesini ifade etmektedir.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	
Ozon Tabakasının İncelmesi	0-10	0-10	0-10	Stratosferde bulunan ozon tabakası uzun dalga boylarının geçmesine izin verirken zararlı kısa dalga ultraviyole ışığını emen bir filtre görevi görmektedir. Ozon tabakasının incelmesi, daha zararlı kısa dalga radyasyonunun dünyanın yüzeyine ulaşmasına neden olmaktadır. Bu durum ekosistemleri, tarımsal üretimi, insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Örneğin cilt kanseri, gözde katarakt oluşumu ve bağışıklık sisteminin baskılanması gibi insan sağlığı açısından olumsuz etkiler yarattığı bilinmektedir.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	

EK 5 (Devam) Soru formu.

Etki Kategorisi Adı	Göreceli Önem Ağırlıkları			Açıklama
	Kısa Vadede (0-10 yıl arası) (%)	Orta Vadede (10-100 yıl arası) (%)	Uzun Vadede (>100 yıl) (%)	
İnsan Sağlığı	0-10	0-10	0-10	İnsan sağlığını tehdit eden birçok faktör bulunmaktadır. Farklı kişiler farklı maddelere değişken direnç göstermektedir.
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	

EK 5 (Devam) Soru formu.

İNSAN SAĞLIĞI etkilerini kanser yapıcı ve kanser dışı etkiler şeklinde gruplandırmak gerekirse göreceli önem ağırlıkları ne olur?

Etki Kategorisi	Göreceli Önem Ağırlıkları			Açıklama (varsa yazabilirsiniz)
	Kısa Vadede (0-10 yıl arası) (%)	Orta Vadede (10-100 yıl arası) (%)	Uzun Vadede (>100 yıl) (%)	
Kanser Yapıcı	0-10	0-10	0-10	
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	
Kanser Dışı	0-10	0-10	0-10	
	10-20	10-20	10-20	
	20-30	20-30	20-30	
	30-40	30-40	30-40	
	40-50	40-50	40-50	
	50-60	50-60	50-60	
	60-70	60-70	60-70	
	70-80	70-80	70-80	
	80-90	80-90	80-90	
	90-100	90-100	90-100	

EK 5 (Devam) Soru formu.

Yukarıdaki 12 çevresel etki kategorisi haricinde Türkiye şartlarında eklenebileceğini düşündüğünüz çevresel etki kategorisi var mı? Varsa ne/ neler olabilir? Göreceli önem ağırlığı/ ağırlıkları nelerdir?

Etki Kategorisi Adı	Göreceli Önem Ağırlıkları			Açıklama (varsa yazabilirsiniz)
	Kısa Vadede (0-10 yıl arası) (%)	Orta Vadede (10-100 yıl arası) (%)	Uzun Vadede (>100 yıl) (%)	

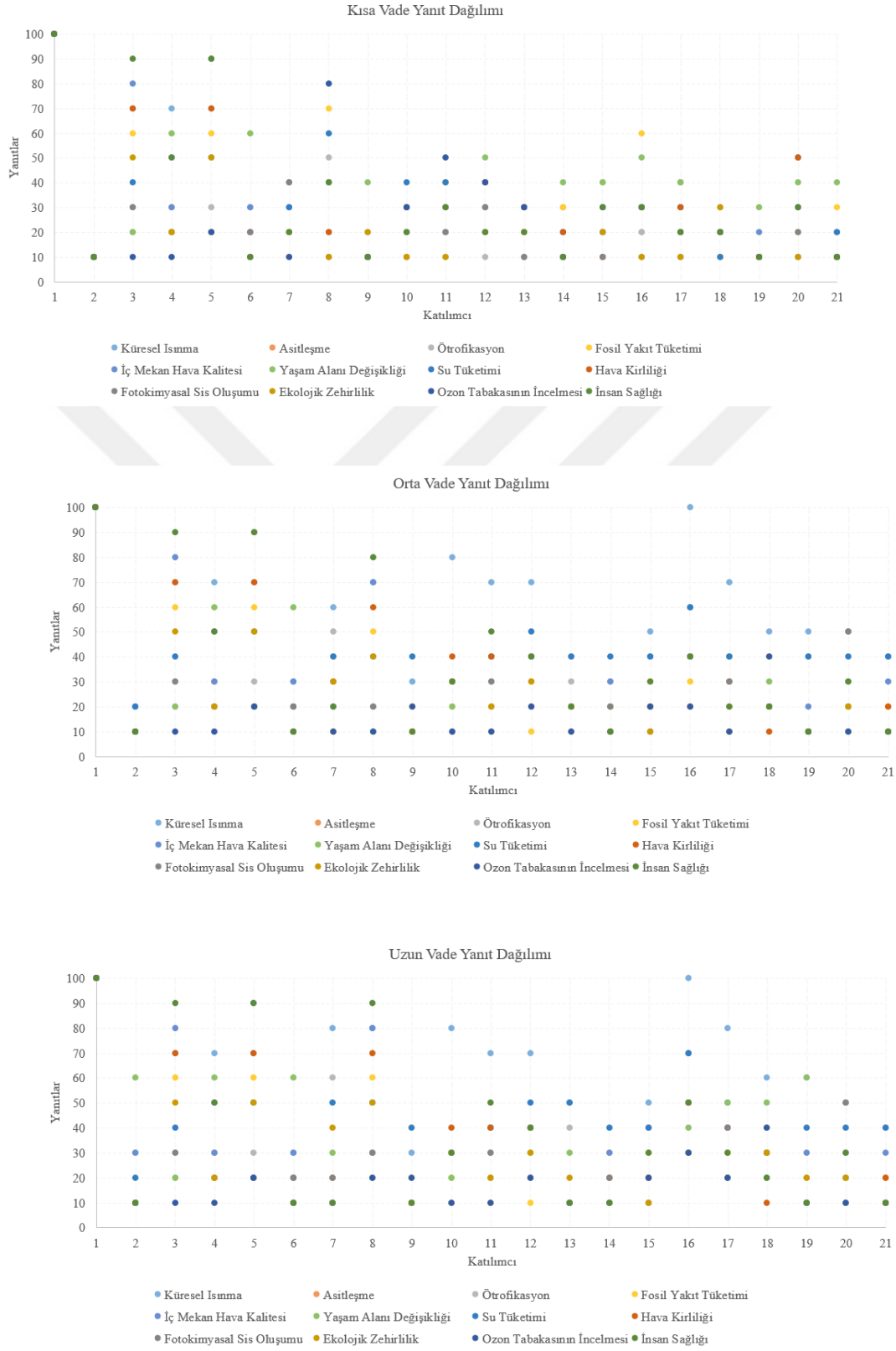
EK 5 (Devam) Soru formu.

BÖLÜM - 2

Bu bölümde vereceğiniz cevaplar tez çalışması kapsamında kurulması planlanan seçim modelinin test edilmesi için kullanılacaktır. LEED sertifikası alma sürecinde, yapı malzemelerinin LEED kriterlerine uygunluğunu değerlendirme sürecinizi dikkate alarak ıyıtım, döşeme, sıva, kaplama/ boya- sızdırmazlık ürünü, duvar malzemeleri için aşağıdaki sorulara cevap vermeniz istenmektedir.

LEED gerekliliklerine uygun olan ve uygun olmayan 5'er adet YALITIM malzemesi yazar mısınız?	
Malzeme Adı	Nereden temin edilebilir?
LEED gerekliliklerine uygun olan ve uygun olmayan 5'er adet DÖŞEME malzemesi yazar mısınız?	
Malzeme Adı	Nereden temin edilebilir?
LEED gerekliliklerine uygun olan ve uygun olmayan 5'er adet SIVA malzemesi yazar mısınız?	
Malzeme Adı	Nereden temin edilebilir?
LEED gerekliliklerine uygun olan ve uygun olmayan 5'er adet KAPLAMA/BOYA veya SIZDIRMAZLIK ÜRÜNÜ malzemesi yazar mısınız?	
Malzeme Adı	Nereden temin edilebilir?
LEED gerekliliklerine uygun olan ve uygun olmayan 5'er adet DUVAR malzemesi yazar mısınız?	
Malzeme Adı	Nereden temin edilebilir?

EK 5 (Devam) Kısa, orta ve uzun vade yanıt dağılımları.



EK 6 LEED v4 BD+NC ve LEED v4.1 BD+NC sertifikalı yapı bilgileri (İnt. Kyn 5).

Proje Adı	Şehir	LEED Versiyonu	Kazanılan Puan	Sertifika Türü	Sertifika Tarihi	Kayıt Tarihi
THY- GSE Yer Hizmetleri Tamir ve Bakım	İstanbul	v4	41	Yalın	4.2.2021	7.9.2018
THY-Iram Uydu Tesisi	İstanbul	v4	41	Yalın	4.2.2021	7.9.2018
Gözen Güvenlik INA Apron İdari Binası	İstanbul	v4	44	Yalın	8.2.2019	9.27.2018
THY-Hat Bakım Hangarı Tesisi-LMH	İstanbul	v4	44	Yalın	2.12.2021	7.9.2018
ATC KULE	İstanbul	v4	44	Yalın	11.17.2020	11.10.2017
Devlet Konukevi	İstanbul	v4	43	Yalın	11.20.2020	11.10.2017
THY-ULD Bakım ve Depo Alanları Tesisi	İstanbul	v4	47	Yalın	1.7.2021	7.9.2018
G4	Adana	v4	49	Yalın	6.30.2022	6.26.2020
THY Operasyon Merkezi Tesisi/ OC-CT	İstanbul	v4	41	Yalın	4.12.2021	7.9.2018
THY Hava Tarafı Geçiş Kapısı Tesisi- ASG	İstanbul	v4	41	Yalın	4.22.2021	7.9.2018
THY-Uçak İçi Iram Tesisi-IFS	İstanbul	v4	46	Yalın	12.16.2020	7.9.2018
Akar Tekstil Fabrikası	Mardin	v4	46	Yalın	11.22.2021	10.30.2018
İzmirgaz Genel Müdürlük Binası	İzmir	v4	55	Gümüş	1.21.2022	1.23.2020
Şişli 19 Mayıs Mahallesi Kreş ve Kütüphane Binası	İstanbul	v4	50	Gümüş	1.26.2019	3.22.2018
Alkım Tekstil Avrasya OSB Fabrika	Yalova	v4	53	Gümüş	7.26.2022	6.22.2020
İnönü Üniversitesi Öğrenci Yaşam Merkezi	Malatya	v4	51	Gümüş	8.15.2022	10.12.2018
Makine İhtisas OSB Yönetim Binası	Kocaeli	v4	50	Gümüş	9.12.2022	7.30.2021
4R Atık Depolama Tesisi	Tekirdağ	v4	52	Gümüş	5.6.2019	5.17.2017
Denge Plastik GEPOSB Fabrika	Kocaeli	v4	57	Gümüş	1.31.2019	5.2.2017
Puratos- Ephesus	İzmir	v4	52	Gümüş	1.17.2022	7.9.2019
Havas İstasyon Binası	İstanbul	v4	50	Gümüş	10.31.2019	11.10.2017
Özgüven Mimarlık Ofisi	Ankara	v4	66	Altın	8.29.2019	3.9.2017
İTEP Tesis Yönetim Merkezi 1E	İstanbul	v4	60	Altın	5.28.2020	11.30.2016

EK 6 (Devam) LEED v4 BD+NC ve LEED v4.1 BD+NC sertifikalı yapı bilgileri (İnt. Kyn 5).

Proje Adı	Şehir	LEED Versiyonu	Kazanılan Puan	Sertifika Türü	Sertifika Tarihi	Kayıt Tarihi
İTEP Sosyal Tesis 6A	İstanbul	v4	65	Altın	11.26.2018	11.30.2016
İTEP İdare ve Arge 9A	İstanbul	v4	63	Altın	5.2.2018	11.30.2016
Bayer Türk İstanbul Ofis	İstanbul	v4	63	Altın	2.25.2019	9.22.2017
Yenişehir Belediyesi BETEM	Mersin	v4	69	Altın	6.7.2021	8.5.2020
Akbank T.A.S. Şanlıurfa	Şanlıurfa	v4	66	Altın	7.27.2022	9.9.2020
İTEP Kuluçka ve Arge 1C	İstanbul	v4	60	Altın	7.19.2018	11.30.2016
BASF İnovasyon Merkezi	İstanbul	v4	62	Altın	11.23.2020	10.8.2018
Dadya Çocukları	Ankara	v4	65	Altın	5.15.2020	1.8.2019
Teknopark 3. Etap binaları cami	İstanbul	v4	62	Altın	7.28.2021	1.31.2019
IGA Çelebi Teknik Bakım Atölye Binası	İstanbul	v4	61	Altın	4.16.2020	8.25.2017
Kırıkkale Tüpras TCM	Kırıkkale	v4.1	62	Altın	3.5.2022	1.15.2020
İstanbul Özel Saint Joseph Lisesi C Blok	İstanbul	v4	62	Altın	3.26.2022	9.11.2019
Kırıkkale Tüpras Eğitim Merkezi	Kırıkkale	v4.1	63	Altın	3.10.2022	1.15.2020
İTEP Arge Blokları 7A 8A	İstanbul	v4	61	Altın	9.19.2018	11.30.2016
İŞ Cadde Konut	İstanbul	v4	64	Altın	9.22.2021	1.3.2019
Kocaer Çelik A.S Galvaniz Tesisi	İzmir	v4	63	Altın	10.4.2022	8.17.2021
Tüfekçi Makine Yönetim Binası	Gaziantep	v4	63	Altın	10.6.2022	5.15.2019
JTI Kıyılmış Tütün Paketleme Binası	İzmir	v4	61	Altın	4.4.2022	9.30.2020
Ali Kuşçu Cami	İstanbul	v4	62	Altın	5.11.2021	11.10.2017
Aromsa A Blok	Kocaeli	v4	84	Platin	1.12.2021	11.5.2019
Mass Konfeksiyon Genel Merkezi	Bursa	v4	84	Platin	2.24.2022	2.3.2020
TEKFEN İnşaat Arşiv Binası	Adana	v4	84	Platin	11.28.2020	2.19.2018
CK Design House	İzmir	v4	80	Platin	8.2.2022	11.20.2020
AROMSA C Blok	Kocaeli	v4	83	Platin	1.24.2020	9.22.2017