

**TOPLU KONUTLARDA TAŞIYICI OLMAYAN DIŞ DUVARLARIN
YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD) YÖNTEMİYLE
İNCELENMESİ, DÜZCE ÖRNEĞİ**

İLKNUR ÖZGAN

DOKTORA TEZİ

**DİSİPLİNLERARASI KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM
DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET CELAL APAY**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPLU KONUTLARDA TAŞIYICI OLMAYAN DIŞ DUVARLARIN
YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD) YÖNTEMİYLE
İNCELENMESİ, DÜZCE ÖRNEĞİ

İlknur ÖZGAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ahmet Celal APAY

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet Celal APAY

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Tahsin TURGAY

Sakarya Üniversitesi

Doç. Dr. İsmail HAKKI DEMİR

Sakarya Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nuray BENLİ YILDIZ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Tuncay KAP

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi:29/09/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

29 Eylül 2023

İlknur ÖZGAN

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Ahmet CELAL APAY'a en içten dileklerle teşekkür ederim. Tez sürecinde ki Tez İzleme Komitelerinde görüş ve önerileri ile destek ve katkı sunan TİK üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Nuray BENLİ YILDIZ ile Dr. Öğr. Üyesi Tuncay KAP'a ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

29 Eylül 2023

İlknur ÖZGAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xiv
ÖZET.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
EXTENDED ABSTRACT.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
3. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRME (YDD) YÖNTEMLERİ.....	7
3.1. YAPI ÜRÜNLERİNİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ.....	9
4. BEES YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ.....	12
4.1. BEES'E GİRİŞ.....	12
4.1.1. BEES Model.....	12
4.2. ÇEVRESEL PERFORMANS.....	13
4.2.1. Amaç ve Kapsam Tanımı.....	15
4.2.2. Envanter Analizi.....	17
4.2.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi.....	18
4.2.3.1. TRACI 2.1.....	21
4.2.3.2. Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES).....	25
4.2.3.3. CML-IA.....	27
4.2.3.4. Ürün Kategorisine Göre PCR Etki Kategorileri.....	27
4.2.4. Etki Yorumlama.....	31
4.2.4.1. Kategori Normalleştirme ve Toplama Metodolojisi.....	31
4.2.4.2. EPA Bilim Danışma Kurulu Çalışması.....	33
4.2.4.3. BEES Paydaş Paneli Kararları.....	35
4.3 EKONOMİK PERFORMANS.....	38
4.3.1. Çalışma Süresi.....	38
4.3.2. Yaşam Döngüsü Maliyeti.....	39
4.3.3. İndirim Oranı.....	39
4.3.4. Karbon Maliyeti.....	41
4.3.5. Geçerli Maliyet Veri Kaynakları.....	43
4.4. BEES ÜRÜN ÖZETİ.....	44
4.4.1. UNIFORMAT II Sınıflandırması.....	44
4.4.2. BEES Ürün Kategorileri.....	45
5. KONUTLARDA DIŞ DUVAR MODELLERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ.....	48
5.1. KALICI KONUTLARDA MEVCUT DIŞ DUVARIN İNCELENMESİ.....	49
5.1.1. Dış Sıva (15.275.1101).....	49
5.1.2. Extrude Polistren Köpük (Epf)+Yapıştırıcı Harç (15.335.1001).....	50

5.1.3. Düşey Delikli Hafif Tuğla Duvar (240x240x235) (18.031/7).....	51
5.1.4. Alçı Sıva (15.280.1011).....	51
5.2. MEVCUT TUĞLA DIŞ DUVAR'IN ISIL GEÇİRGENLİK DİRENCİNİN HESABI (1/U).....	52
5.3. DIŞ DUVARIN BETON OLMASI DURUMUNDA ISIL GEÇİRGENLİK DİRENCİNİN HESABI.....	55
5.4. DIŞ DUVARIN GAZ BETON OLMASI DURUMUNDA ISIL GEÇİRGENLİK DİRENCİNİN HESABI.....	56
5.5. DIŞ DUVARIN BİMS-BRİKET BETON OLMASI DURUMUNDA ISIL GEÇİRGENLİK DİRENCİNİN HESABI.....	59
6. BEES (BUILDING FOR ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY) YÖNTEMİ İLE DIŞ DUVARLARIN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMELERİ.....	61
6.1. GENEL DIŞ SIVA.....	61
6.1.1. Ürün Tanımı	61
6.1.2. Akış Diyagramı.....	62
6.1.3. Ham Madde	62
6.1.4. İmalat	63
6.1.5. Ulaşım.....	63
6.1.6. Sıva Yapımı, Uygulaması.....	63
6.1.7. Kullanım.....	64
6.1.8. Yaşamın (Hayatın) Sonu.....	65
6.2. TUĞLA&HARÇ	65
6.2.1. Ürün Tanımı	65
6.2.3 Ham Maddeler.....	66
6.2.4. Üretim.....	67
6.2.5. Ulaşım.....	68
6.2.6. Uygulama-Yapımı-İmalatı	68
6.2.7. Kullanımı	68
6.2.8. Ömür (Yaşamın) Sonu.....	68
6.3. DIŞ CEPHE KAPLAMA ÜRÜNLERİ (EXTERIOR INSULATION AND FINISH SYSTEMS “EIFS”).....	69
6.3.1. Ürün Açıklaması.....	69
6.3.2. Akış Diyagramı.....	70
6.3.3. Ham Maddeler.....	70
6.3.4. Üretim.....	71
6.3.5. Taşıma	72
6.3.6. Kurulum-Yapım	72
6.3.7. Kullanım.....	74
6.3.8. Yaşam Sonu	74
7. BEES İLE DIŞ DUVAR YAŞAM DÖNGÜ ANALİZİ.....	75
7.1. TUĞLA DUVAR İÇİN YDED KATEGORİLERİ VE YAŞAM DÖNGÜ MALİYETİNİN İNCELENMESİ	75
7.1.1. Ozon İncelme Potansiyeli (kg CFC)	76
7.1.2. Su Kullanımı (Litre).....	77
7.1.3. Arazi Kullanımı (m ²).....	78
7.1.4. Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenemeyen (Megajule, MJ)	79
7.1.5. Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenebilir (Megajule, MJ)	81

7.1.6. Küresel Isınma Potansiyeli GWP (kg, CO ₂)	82
7.1.7. Duman Oluşumu (kg, O ₃)	84
7.1.8. Asitleşme Potansiyeli (kg, SO ₂)	85
7.1.9. Ötrofikasyon (kg, N)	86
7.1.10. Kansorejenler	88
7.1.11. Kansorejen Olmayanlar	89
7.1.12. Solunum Etkileri (kg PM _{2,5})	90
7.1.13. Ekolojik Toksikite.....	92
7.1.14. Tuğla Duvarın Yaşam Döngü Maliyeti	93
7.2. BETON DUVAR, GAZ BETON DUVAR VE BİMS-BRİKET BETON DUVAR İÇİN YDED KATEGORİLERİ VE YAŞAM DÖNGÜ MALİYETLERİ	93
7.2.1. Ozon İncelme Potansiyelleri (kg, CFC).....	94
7.2.2. Su Kullanımı (Litre).....	95
7.2.3. Arazi Kullanımı (m ²).....	97
7.2.4. Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenemeyen (Megajule, MJ)	98
7.2.5. Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenebilir (Megajule, MJ)	99
7.2.6. Küresel Isınma Potansiyeli GWP (kg, CO ₂)	100
7.2.7. Duman Oluşumu (kg, O ₃)	102
7.2.8. Asitleşme Potansiyeli (kg, SO ₂)	103
7.2.9. Ötrofikasyon (kg, N)	104
7.2.10. Kanserojenler	105
7.2.11. Kanserojen Olmayanlar	107
7.2.12. Solunum Etkileri (kg PM _{2,5})	108
7.2.13. Ekolojik Toksikite.....	109
7.3. DUVAR MODELLERİNİN YAŞAM DÖNGÜ MALİYETLERİ	110
7.3.1. Mevcut Tuğla Duvarın (TS 825'e <u>Uygun Değil</u>) Yaşam Döngü Maliyeti	111
7.3.2. Mevcut Tuğla Duvar TS 825'e <u>Uygun Olursa</u> Yaşam Döngü Maliyeti. 111	
7.3.3. TS 825'e Uygun Beton Duvarın Yaşam Döngü Maliyeti.....	112
7.3.4. TS 825'e Uygun Gaz Beton Duvarın Yaşam Döngü Maliyeti.....	112
7.3.5. TS 825'e Uygun Bims-Briket Beton Duvarın Yaşam Döngü Maliyeti.. 113	
8. DUVAR MODELLERİNİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	114
8.1. YAŞAM DÖNGÜ ANALİZ SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ	116
8.1.1. Tanımlayıcı istatistikler	116
8.1.2. Yaşam Döngü Maliyeti ve Karbon Maliyeti İçin Paired Samples t-Test (Bağımlı Örneklem t-Testi)	117
9. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	119
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	124
11. KAYNAKLAR.....	128
ÖZGEÇMİŞ.....	139

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.1. BEES envanter veri kategorileri.....	17
Şekil 4.2. BEES paydaş paneli oylama sonucu zaman dilimlerine göre sentezlenen önem ağırlıkları.....	37
Şekil 4.3. BEES paydaş paneli paydaşlara göre önem ağırlıkları.....	37
Şekil 4.4. BEES paydaş paneli zaman dilimlerine göre önem ağırlıkları.....	37
Şekil 4.5. AB emisyon ticaret sistemleri GHG ödenek fiyatı (nisan 2008-eylül 2018).	42
Şekil 5.1. Tuğla ve tuğla duvar ile ilgili uygulama örnekleri.....	54
Şekil 5.2. Beton duvar ile ilgili uygulama örnekleri.....	55
Şekil 5.3. Gaz beton malzemesi ve gaz beton uygulamaları.....	58
Şekil 5.4. Bims-briket malzemesi ve bims-briket betonun uygulanması.....	60
Şekil 6.1. Duvar harcı üç kat sıva sistem sınırları.....	62
Şekil 6.2. Tuğla&harç üretiminde sistem sınırları.....	66
Şekil 6.3. Dryvit dışizolasyon üretiminde sistem sınırları.....	70
Şekil 6.4. Dryvit dışizolasyon plus üretiminde sistem sınırları.....	70
Şekil 7.1. Tuğla dış duvarın YDEK'nin ozon incelme potansiyelleri oransal değerleri.	76
Şekil 7.2. Tuğla dış duvarın ozon incelme potansiyelinin ÇEK oransal dağılımı.....	77
Şekil 7.3. Tuğla dış duvarın YDEK'nin su kullanımı oransal değerleri.....	78
Şekil 7.4. Tuğla dış duvarın su kullanımı ÇEK oransal değerleri.....	78
Şekil 7.5. Tuğla dış duvarın YDEK'nin arazi kullanımı oransal değerleri.....	79
Şekil 7.6. Tuğla dış duvarın arazi kullanımı ÇEK oransal değerleri.....	79
Şekil 7.7. Tuğla dış duvarın YDEK'nin yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin oransal değerleri.....	80
Şekil 7.8. Tuğla dış duvarın yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin ÇEK oransal değerleri.....	81
Şekil 7.9. Tuğla dış duvarın YDEK'nin yenilenebilir birincil enerji tüketiminin oransal değerleri.....	82
Şekil 7.10. Tuğla dış duvarın yenilenebilir birincil enerji tüketiminin ÇEK oransal değerleri.....	82
Şekil 7.11. Tuğla dış duvarın YDEK'nin küresel ısınma potansiyelinin oransal değerleri.....	83
Şekil 7.12. Tuğla dış duvarın küresel ısınma potansiyelinin ÇEK oransal değerleri.....	83
Şekil 7.13. Tuğla dış duvarın YDEK'nin duman oluşumunun oransal değerleri.....	84
Şekil 7.14. Tuğla dış duvarın duman oluşumunun ÇEK oransal değerleri.....	85
Şekil 7.15. Tuğla dış duvarın YDEK'nin asitleşme potansiyelinin oransal değerleri.....	86
Şekil 7.16. Tuğla dış duvarın asitleşme potansiyelinin ÇEK oransal dağılımı.....	86
Şekil 7.17. Tuğla dış duvarın YDEK'nin ötrofikasyonun oransal değerleri.....	87
Şekil 7.18. Tuğla dış duvarın ötrofikasyonun ÇEK oransal dağılımı.....	87
Şekil 7.19. Tuğla dış duvarın YDEK'nin kansorejenlerin oransal değerleri.....	88
Şekil 7.20. Tuğla dış duvarın kansorejenlerin ÇEK oransal dağılımı.....	89
Şekil 7.21. Tuğla dış duvarın YDEK'nin kansorejen olmayanların oransal değerleri.....	90
Şekil 7.22. Tuğla dış duvarın kansorejen olmayanların ÇEK oransal dağılımı.....	90
Şekil 7.23. Tuğla dış duvarın YDEK'nin solunum etkilerinin oransal değerleri.....	91
Şekil 7.24. Tuğla dış duvarın solunum etkilerinin ÇEK oransal değerleri.....	91
Şekil 7.25. Tuğla dış duvarın YDEK'nin ekolojik toksisitenin değerleri.....	92
Şekil 7.26. Tuğla dış duvarın ekolojik toksisitenin ÇEK oransal değerleri.....	93
Şekil 7.27. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin ozon incelme	

potansiyellerinin oransal değerleri.	95
Şekil 7.28. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ozon incelme potansiyelleri ÇEK oransal değerleri.	95
Şekil 7.29. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin su kullanımının oransal değerleri.	96
Şekil 7.30. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın su kullanımının ÇEK oransal değerleri.	96
Şekil 7.31. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin arazi kullanımının oransal değerleri.	97
Şekil 7.32. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın arazi kullanımının ÇEK oransal değerleri.	98
Şekil 7.33. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin oransal değerleri.	99
Şekil 7.34. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin ÇEK oransal değerleri.	99
Şekil 7.35. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin yenilenebilir birincil enerji tüketiminin oransal değerleri.	100
Şekil 7.36. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın Yenilenebilir birincil enerji tüketiminin" ÇEK oransal dağılımı.	100
Şekil 7.37. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin küresel ısınma potansiyelinin oransal değerleri.	101
Şekil 7.38. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın küresel ısınma potansiyelinin ÇEK oransal değerleri.	101
Şekil 7.39. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin duman oluşumunun oransal değerleri.	102
Şekil 7.40. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın duman oluşumunun ÇEK oransal değerleri.	103
Şekil 7.41. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin asitleşme potansiyelinin oransal değerleri.	103
Şekil 7.42. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın asitleşme potansiyelinin ÇEK oransal değerleri.	104
Şekil 7.43. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin ötrofikasyonun oransal değerleri.	105
Şekil 7.44. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ötrofikasyonun ÇEK oransal değerleri.	105
Şekil 7.45. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin kanserojenlerin oransal değerleri.	106
Şekil 7.46. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın kanserojenlerin ÇEK oransal değerleri.	106
Şekil 7.47. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin kansorejen olmayanların oransal değerleri.	107
Şekil 7.48. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın kanserojen olmayanların ÇEK oransal değerleri.	107
Şekil 7.49. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin solunum etkilerinin oransal değerleri.	108
Şekil 7.50. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın solunum etkilerinin ÇEK oransal değerleri.	109
Şekil 7.51. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin ekolojik toksisitenin oransal değerleri.	110
Şekil 7.52. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ekolojik toksisitenin	

ÇEK oransal değerleri.	110
Şekil 8.1. Duvar modellerinin yaşam döngü maliyetleri.	115
Şekil 8.2. Duvar modellerinin karbon maliyetleri.	116



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Kalıcı konutların blok bazında sayıları ve blok özellikleri.....	6
Çizelge 2.2. Konutların dış duvar kesitindeki malzemeler (dıştan içe doğru).....	6
Çizelge 4.1. Ürün Sistemi Sınırlarını Belirlemek İçin Karar Kriterleri.....	15
Çizelge 4.2. BEES sonuç kategorileri.....	21
Çizelge 4.3. GWP elde etmek için örnek hesaplama.....	22
Çizelge 4.4. Mevcut ürün kategorisine göre ABD İçin PCR etki kategorileri.....	30
Çizelge 4.5. BEES normalizasyon referansları.....	32
Çizelge 4.6. Etki kategorisi önem ağırlıklarının türetilmesi için ikili karşılaştırma değerleri.....	34
Çizelge 4.7. Bilim danışma kurulu çalışmasına göre göreceli önem ağırlıkları.....	34
Çizelge 4.8. BEES paydaş paneli kararlarına göre göreceli önem ağırlıkları.....	36
Çizelge 4.9. Karbon tahminlerinin sosyal maliyeti.....	42
Çizelge 4.10. UNIFORMAT öğeleri.....	44
Çizelge 4.11. UNIFORMAT elemanına göre BEES ürün kategorileri.....	45
Çizelge 4.12. BEES ürün kategorisi fonksiyonel birim ve kullanım aşaması seçenekleri.....	47
Çizelge 5.1. Dış sıva (27.501) birim fiyat tarif ve analizi.....	49
Çizelge 5.2. Extrude polistren köpük (Epfi) + yapıştırıcı Harç (15.335.1001) birim fiyat tarif ve analizi.....	50
Çizelge 5.3. Düşey delikli hafif tuğla duvar (18.031/7) birim fiyat tarif ve analizi.....	51
Çizelge 5.4. Alçı sıva (15.280.1011) birim fiyat tarif ve analizi.....	52
Çizelge 5.5. Mevcut dış duvar kesit elemanları ve toplam ısı iletkenlik direnç hesapları.....	52
Çizelge 5.6. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri.....	53
Çizelge 5.7. TS 825'e uygun olarak düzenlenmiş hesap tablosu.....	53
Çizelge 5.8. TS 825'e uygun olarak düzenlenmiş hesap tablosu.....	56
Çizelge 5.9. Gaz beton için TS 825'e uygun olarak düzenlenmiş hesap tablosu.....	58
Çizelge 5.10. TS 825'e uygun olarak düzenlenmiş hesap tablosu.....	60
Çizelge 6.1. Alçı çimento türüne göre sıva yoğunluğu.....	62
Çizelge 6.2. üç kat sıva bileşenleri.....	62
Çizelge 6.3. Tip N duvar çimentosu bileşenleri.....	63
Çizelge 6.4. Pişirilmiş tuğla bileşenleri.....	66
Çizelge 6.5. Tuğla imalatı için enerji gereksinimleri.....	67
Çizelge 6.6. Dış yalıtım ve ilave dış yalıtım ürün bileşenleri.....	71
Çizelge 6.7. Dış yalıtım MD ürün bileşenleri.....	71
Çizelge 6.8. Dryvit dış yalıtımı ve dış yalıtımı ilave malzemelerini karıştırmak için enerji gereksinimleri.....	72
Çizelge 6.9. Dryvit EIFS bileşenleri.....	73
Çizelge 7.1. Tuğla dış duvarın ozon incelme potansiyelinin birim maliyetleri.....	76
Çizelge 7.2. Tuğla dış duvarın su kullanımı birim maliyetleri.....	77
Çizelge 7.3. Tuğla dış duvarın arazi kullanımı birim maliyetleri.....	78
Çizelge 7.4. Tuğla dış duvarın yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin birim maliyetleri.....	80
Çizelge 7.5. Tuğla dış duvarın yenilenebilir birincil enerji tüketiminin birim maliyetleri.....	81
Çizelge 7.6. Tuğla dış duvarın küresel ısınma potansiyelinin birim maliyetleri.....	83

Çizelge 7.7. Tuğla dış duvarın duman oluşumunun birim maliyetleri.	84
Çizelge 7.8. Tuğla dış duvarın asitleşme potansiyelinin birim maliyetleri.	85
Çizelge 7.9. Tuğla dış duvarın ötrofikasyonun birim maliyetleri.	87
Çizelge 7.10. Tuğla dış duvarın kansorejenlerin birim maliyetleri.	88
Çizelge 7.11. Tuğla dış duvarın kansorejen olmayanların birim maliyetleri.	89
Çizelge 7.12. Tuğla dış duvarın kansorejen olmayanların birim maliyetleri.	91
Çizelge 7.13. Tuğla dış duvarın ekolojik toksisitenin birim maliyetleri.	92
Çizelge 7.14. Tuğla duvar, sıva ve dış cephe yalıtımı için yaşam döngü maliyetleri.	93
Çizelge 7.15. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ozon incelme potansiyelinin birim maliyetleri	94
Çizelge 7.16. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın su kullanımının birim maliyetleri	96
Çizelge 7.17. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın arazi kullanımının birim maliyetleri	97
Çizelge 7.18. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin birim maliyetleri.	98
Çizelge 7.19. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın yenilenebilir birincil enerji tüketiminin birim maliyetleri	99
Çizelge 7.20. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın küresel ısınma potansiyelinin birim maliyetleri	101
Çizelge 7.21. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın duman oluşumunun birim maliyetleri	102
Çizelge 7.22. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın asitleşme potansiyelinin birim maliyetleri	103
Çizelge 7.23. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ötrofikasyonun birim maliyetleri	104
Çizelge 7.24. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın kansorejenlerin birim maliyetleri	105
Çizelge 7.25. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın kansorejen olmayanların birim maliyetleri	107
Çizelge 7.26. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın solunum etkilerinin birim maliyetleri.	108
Çizelge 7.27. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ekolojik toksisitenin birim maliyetleri.	109
Çizelge 7.28. Mevcut tuğla duvarın (TS 825'e <u>uygun değil</u>) yaşam döngü maliyeti. ..	111
Çizelge 7.29. Mevcut tuğla duvarın (TS 825'e <u>uygun</u>) yaşam döngü maliyeti.	111
Çizelge 7.30. Beton dış duvarın (TS 825'e <u>uygun</u>) yaşam döngü maliyeti.	112
Çizelge 7.31. Gaz beton dış duvarın (TS 825'e <u>uygun</u>) yaşam döngü maliyeti	113
Çizelge 7.32. Bims&briket beton dış duvarın (TS 825'e <u>uygun</u>) yaşam döngü maliyeti.	113
Çizelge 8.1. Duvar modellerinin yaşam döngü analiz sonuçları.	114
Çizelge 8.2. Duvar modellerinin yaşam döngü ve karbon maliyetlerinin tanımlayıcı istatistikleri.	117
Çizelge 8.3. Bağımlı örneklem t-Testi istatistik sonuçları.	118
Çizelge 8.4. Bağımlı örneklem t-Testi karşılaştırma sonuçları	118

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADP	Abiyotik Tükenme Potansiyeli
ADPE	Kaynak Tüketim Oluşumu Potansiyeli (Fosil Olmayan)
ADPF	Kaynak Tüketimi Oluşumu Potansiyeli (Fosil Kaynaklardan)
AEO	Uygulamalı Ekonomi Ofisi
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
AIA	Amerika Mimarlar Enstitüsü
ANSI	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
AP	Asidifikasyon Potansiyeli
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
AWARE	Kalan Su
BEES	Yapılar İçin Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik
BRE	Yapı Araştırma Kurumu
BIA	Tuğla Endüstrisi Derneği
BREEAM	Yapı Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Kurumu
CASBEE	Yapı Çevresel Verimliliği İçin Kapsamlı Değerlendirme Sistemi
CED	Kümülatif Enerji Talebi
CEN	Avrupa Standardizasyon Komitesi
CML	Leiden Üniversitesi Çevre Bilim Merkezi
ÇEDBİK	Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
ÇEK	Çevresel Etki Kategorileri
DÇKK	Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu
DGNB	Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi
DOE	Enerji Bölümü
EEA	Avrupa Çevre Ajansı
EIFS	Dış Görünümü Yalıtım ve Kaplama Sistemleri
EL	Mühendislik Laboratuvarı
EMO	Elektrik Mühendisleri Odası
EP	Ötrofikasyon Potansiyeli
EPA	Çevresel Koruma Derneği
EP	Ötrofikasyon Potansiyeli
EPD	Çevresel Ürün Bildirimi
ETKB	Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı
ETKHKKY	Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğini Kontrolü Yönetmeliği
ETS	Emisyon Ticaret Sistemleri
HHW	Evsel tehlikeli Atık
HT	İnsan Zehirlenmesi
GFRC	Cam Elyaf Takviyeli Beton
GHG	Sera Gazı
GRI	Küresel Raporlama Girişimi
GRCA	Uluslararası Cam Elyaf Takviyeli Beton Birliği
GTT	Gökçe Tuna Taygun YDD Modeli
GWP	Küresel Isınma Potansiyeli
IAQ	İç Hava Kalitesi
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü

IUCN	Dünya Doğayı Koruma Birliği
IPCC	Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli
FCS	Orman Yönetim Konseyi
FWAE	Tatlı Su Kaynaklarının Zehirlenmesi
LCA	Yaşam Döngü Değerlendirmesi
LCC	Yaşam Döngü Maliyeti
LCIA	Yaşam Döngü Etki Değerlendirmesi
LCI	Life-Cycle Inventory/Yaşam Döngü Envanteri
LEED	Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik
MAE	Tuzlu Su Kaynaklarının Zehirlenmesi
MDF	Orta Yoğunluğa Sahip Lif Levha
MSDS	Malzeme Güvenlik Bilgi Formu
NIST	Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
ODP	Ozon İncelme Potansiyeli
POCP	Fotokimyasal Oksidasyon Oluşma Potansiyeli
PCR	Ürün Kategorisi Kuralları
PVC	Polivinil Klorür
ReCiPe	Representing the initials of the major collaborator institutions of RIVM and Radboud University, CML and PRé'nin
SAB	Bilim Danışma Kurulu
SCC	Karbonun Sosyal Maliyeti,
SETAC	Çevre Toksikoloji ve Kimya Örgütü
SD	Silis Dumanı
SimaPro	Ürünlerin Bütünleşmiş Çevresel Değerlendirme Sistemi
SMA	Sıva Üreticileri Derneği
TE	Karasal Zehirlenme
TMMOB	Türkiye Mimarlar ve Mühendisler Odaları Birliği
TRACI	Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılması ve Değerlendirilmesi Aracı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
UK	Uçucu Kül
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
USGBC	Birleşik Devletler Yeşil Yapı Konseyi
VOCs	Uçucu Organik Bileşikler
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YDE	Yaşam Döngüsü Envanteri
YDED	Yaşam Döngü Etki Değerlendirmesi
YDEK	Yaşam Döngü Etki Kategorileri
YDM	Yaşam Döngüsü Maliyeti
YDY	Yaşam Döngüsü Yönetimi
YFC	Yüksek Fırın Cürufu

ÖZET

TOPLU KONUTLARDA TAŞIYICI OLMAYAN DIŞ DUVARLARIN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD) YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ, DÜZCE ÖRNEĞİ

İlknur ÖZGAN

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri

Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ahmet CELAL APAY

Eylül 2023, 139 sayfa

Dünyada enerji tüketiminin %40'ı endüstride, %31'i binalarda, %19'u ulaşırmada %5'i tarımda ve %5'i de diğer alanlarda gerçekleşmektedir. Binalardaki enerji kayıplarının yaklaşık %40'ı ise dış duvarlarda gerçekleşmektedir. İnşaat sektöründe yapı elemanlarının üretimi, kullanımı, bakımı ve bertaraf edilmesinde kaynakların verimli kullanılması önemlidir. Bu kapsamda, ürün ve hizmetlerin çevresel etkilerinin tespiti ve azaltılabilmesi amacı ile Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD) yöntemi geliştirilmiştir. YDD, bir yapı malzemesi üretiminde hammaddenin çıkarılması, üretimi, dağıtımı, kullanımı ve bertaraf sürecinde, sistemdeki malzeme, enerji akışını ve çevresel etkileri tespit etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışma, 1999 yılındaki depremlerden sonra Düzce'de yapılmış olan toplam 7000 konutluk toplu konut alanında ki binaların dış duvarlarını kapsamaktadır. Binaların dış duvar kesitlerinde yer alan yapı malzemelerinin üretimi, dağıtımı, kullanımı ve bertaraf edilecek olmaları dikkate alınarak YDD yöntemi ile analizler yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında toplam 5 dış duvar modeli incelenmiştir. İncelenen dış duvar modelleri ilk olarak mevcut Tuğla duvar olmak üzere TS-825'e uygun Tuğla duvar, Beton duvar, Gaz beton duvar ve Bims&briket beton duvarlardır. Bu dış duvar modelleri TS-825 yönetmeliğine uygun olarak ikinci derece gün bölgesinde yer alan Düzce ili için $U=0,6$ 'ya göre ısı geçirgenlik dirençleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Dış duvar modellerinin YDD analizleri sonucunda en az maliyetli dış duvar kesitinin TS-825'e uygun Gaz beton olduğu, en yüksek YDD maliyetli duvarın ise beton duvar olduğu tespit edilmiştir. En az yaşam döngü maliyeti TS-825'e uygun "Gaz beton duvar" referans olarak alındığında ise Bims&briket duvarın YDD maliyetinin yaklaşık %22, TS-825'e uygun tuğla duvarın yaklaşık %24 ve TS-825'e uygun beton duvarın yaklaşık %44 daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte TS 825'e uygun olmayan mevcut tuğla duvarın YDD maliyetinin ise yaklaşık %2 daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Karbon maliyeti açısından en yüksek maliyetin beton duvarda olduğu görülmüştür. Dış duvar modellerinin YDD maliyetleri ile karbon maliyetleri arasında %95 güven aralığında istatistiksel olarak (sig. 0,00) anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda Düzce ili kalıcı konutlarında toplam YDD maliyeti açısından en uygun duvar modelinin Gaz beton duvar olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte yapıların ilk yapım maliyetleri ile birlikte YDD maliyet analizlerinin de yapılması gerektiği değerlendirilmektedir.

Anahtar sözcükler: Yapı Elemanı, Dış Duvar, Yapı Malzemesi, YDD.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF NON-BEARING EXTERIOR WALLS IN PUBLIC HOUSING BY LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) METHOD, DÜZCE EXAMPLE

İlknur ÖZGAN

Düzce University

Graduate School of Education, Department of Interdisciplinary Composite Material Technologies

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet CELAL APAY

September 2023, 139 pages

In the world, 40% of energy consumption takes place in industry, 31% in buildings, 19% in transport, 5% in agriculture and 5% in other areas. Approximately 40% of energy losses in buildings are realised in external walls. In the construction sector, it is important to use resources efficiently in the production, use, maintenance and disposal of building elements. In this context, the Life Cycle Assessment (LCA) method has been developed in order to identify and reduce the environmental impacts of products and services. LCA is used to determine the material, energy flow and environmental impacts in the system during the extraction, production, distribution, use and disposal of raw materials in the production of a building material. This study covers the exterior walls of the buildings in the mass housing area with a total of 7000 houses built in Düzce after the earthquakes in 1999. Considering the production, distribution, use and disposal of the building materials in the exterior wall sections of the buildings, analyses were made with the LCA method. Within the scope of this study, a total of 5 exterior wall models were analysed. The exterior wall models analysed are firstly the existing brick wall, brick wall in accordance with TS-825, concrete wall, aerated concrete wall and pumice & briquette concrete wall. These external wall models were evaluated by calculating their thermal transmittance resistance according to $U=0,6$ for Düzce province located in the second degree day zone in accordance with TS-825 regulation. As a result of the LCA analyses of the exterior wall models, it was determined that the least costly exterior wall section was aerated concrete in accordance with TS-825 and the wall with the highest LCA cost was concrete wall. When "Aerated concrete wall" conforming to TS-825 is taken as a reference, it is understood that the LCA cost of the pumice-brick wall is approximately 22% more, the brick wall conforming to TS-825 is approximately 24% more and the concrete wall conforming to TS-825 is approximately 44% more. However, it is understood that the LCA cost of the existing brick wall that does not comply with TS-825 is approximately 2% more. In terms of carbon cost, the highest cost was found to be in the concrete wall. It was determined that there are statistically significant differences (sig. 0.00) between the LCA costs and carbon costs of the exterior wall models at 95% confidence interval. As a result of the analyses and evaluations, it is understood that the most suitable wall model in terms of total LCA cost in permanent residences in Düzce province is Aerated concrete wall. However, it is evaluated that the initial construction costs of the buildings should also be analysed together with the LCA cost analyses.

Keywords: Building Element, Exterior Wall, Building Material, LCA.

EXTENDED ABSTRACT

INVESTIGATION OF NON-BEARING EXTERIOR WALLS IN PUBLIC HOUSING BY LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) METHOD, DÜZCE EXAMPLE

İlknur ÖZGAN

Düzce University

Graduate School of Education, Department of Interdisciplinary Composite Material Technologies

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet CELAL APAY

September 2023, 139 pages

1. INTRODUCTION

Life Cycle Assessment (LCA) evaluates all kinds of environmental impact in the process from raw material acquisition to disposal, in a holistic manner. LCA takes a comprehensive and systematic approach to environmental assessment. [26]. This study covers the exterior walls of the buildings in the mass housing area with a total of 7000 houses built in Düzce after the earthquakes in 1999. Considering the production, distribution, use and disposal of the building materials in the exterior wall sections of the buildings, analyses were made with the LCA method. Within the scope of this study, a total of 5 exterior wall models were analysed. Thus, the results of the external walls of the new Corporate Housing would be evaluated comparatively with the results of the external walls. The results to be obtained would be used in order to predict the results of the LCA for future corporate housing.

2. MATERIAL AND METHODS

The concept of sustainability, which aims to reduce the use of resources and environmental impacts of buildings, is defined as “meeting today's requirements without compromising the ability of future generations to meet their own needs” [8, 9]. Sustainable architecture and sustainable building material concepts have been defined as sub-components of sustainability [10]. LCA is used to determine the material, energy flow and environmental effects in the system during the extraction, production, distribution, use and disposal of raw materials in the production of a building material and building [11]. Construction, use, maintenance and demolition phases of the buildings are responsible for 50% of the total energy use and almost 50% of the carbon dioxide gas

formation during the life cycle of the buildings [12]. The Study was conducted after the earthquakes in 1999 in a corporate housing with 18 types of blocks in a total of 7000 houses are shown in Table 1 [27]. The life cycle costs of the external walls of these buildings were analysed with BEES for 5 different wall models and the results were compared and evaluated for 5 different wall models. Whether there is a difference between the life cycle costs of external walls was also tested with statistical methods.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

"Sustainability", which was first discussed in detail in the Brundtland report prepared by the World Commission on Environment and Development in 1987, is defined as "meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs" [8]. For sustainability to be realized, the consumption of renewable natural resources should not exceed the production capacity of nature [15]. Sustainability consists of social, economic and environmental sub-elements. In order to evaluate products environmentally, it is necessary to know not only the product but also the production processes and content of the product. All materials are created, destroyed or reconstructed within a life cycle in an ecological context [10]. The studies carried out in the process started to attract the attention of the public with the legislation and standards prepared, and EN15804 "Sustainability in construction works, environmental product declaration - Product Category Rules (PCR) in construction materials" was completed [25]. In this study, the non-bearing exterior walls of the Permanent Housing type buildings, which were built after the earthquakes in Düzce in 1999 and have been in use for about 20 years, were analysed by LCA method. The existing exterior wall is brick and the life cycle analyses of the exterior wall in case of brick, concrete, aerated concrete and pumice & briquette in accordance with TS-825 (Turkish Standards) were also performed [29]. Created in 1994, BEES has been used for the evaluation of building products through the website of NIST (National Institute of Standards and Technology). BEES methodology adopts a multidimensional life cycle approach by considering multiple sustainability criteria. Environmental, economic and social impacts should be assessed over the entire lifetime of a building product. Environmental LCA is a "cradle-to-grave" systems approach to measuring environmental performance. The approach is based on the rationale that all stages of a product's life cycle create environmental impacts and should therefore be analysed, including raw material acquisition, product manufacture, transport, installation, operation, maintenance and ultimately recycling and waste

management [30]. In this study, the environmental impact factors examined in BEES were weighted according to their importance and analyses were made according to these weights. Within the scope of the study, a total of 5 exterior wall models were analysed. These exterior wall models were evaluated by calculating their thermal transmittance resistance according to $U=0,6$ for Düzce province located in the second-degree day zone in accordance with TS-825 regulation. Existing brick wall, brick wall, concrete wall, aerated concrete wall and pumice & briquette concrete walls in accordance with TS-825. In the calculations made according to TS-825, it was understood that the "Extruded Polystyrene Foam" thickness of 3 cm in the existing exterior wall does not meet the TS-825 requirement and is insufficient. It was determined that the thickness of "Extruded Polystyrene Foam" should be at least 4,47 cm in order for the brick wall section, 5,56 cm for concrete wall, 1,67 cm for aerated concrete, and 3,30 cm for pumice & briquette wall to meet the TS-825 requirement. Life cycle costs and carbon costs were calculated for a 60-year lifetime with the same cross-sections of the external wall models but only different external insulation thicknesses for compliance with TS825. Accordingly;

- The life cycle cost of the existing brick wall that does not meet the TS825 requirement is calculated as 75.796.995 \$, carbon cost is 385.855 \$ and total life cycle cost is 76.182.850 \$.
- The life cycle cost of the brick wall conforming to TS825 was calculated as 92.069.995 \$, carbon cost 450.947 \$ and total life cycle cost 92.520.942 \$.
- The life cycle cost of the concrete wall conforming to TS825 was calculated as \$106,661,452, carbon cost as \$794,867 and total life cycle cost as \$107,456,319.
- The life cycle cost of aerated concrete wall conforming to TS825 was calculated as \$74,115,452, carbon cost as \$717,037 and total life cycle cost as \$74,832,489.
- Life cycle cost of Pumice&brick concrete wall conforming to TS825 was calculated as 90.388.542 \$, carbon cost as 742.790 \$ and total life cycle cost as 91.131.242 \$.

As a result of the life cycle analyses of the exterior wall models, it is seen that the most suitable exterior wall is Aerated concrete in accordance with TS-825, the second place is Bims-briquet concrete wall, the third place is Brick wall and the life cycle cost of the existing brick wall is close to the cost of Bims-briquet concrete wall, and the fourth place is concrete wall with the maximum life cycle cost. When the life cycle costs of the other wall sections are compared to the Aerated concrete wall, it is understood that the life cycle

cost of the pumice-brick wall is approximately 22% more, the existing brick wall is approximately 24% more, the concrete wall is approximately 44% more. However, the life cycle cost of the existing brick wall that does not comply with TS-825 is approximately 2% more. In terms of carbon cost, it is seen that the highest cost is in concrete wall with 794867\$, Pumice&brick wall is in the second place with 742790\$, Aerated concrete is in the third place with 717037\$, Brick wall conforming to TS-825 is in the fourth place with 450947\$ and the existing brick wall not conforming to TS-825 is in the fifth place with 385855\$. In this study, whether there is a statistically significant difference between the life cycle costs and carbon costs of 5 different exterior wall models at 95% confidence interval was tested and it was determined that there are statistically significant differences between the life cycle costs of the wall models at 95% confidence interval with sig. 0.000 [31]. As a result of the analyses and evaluations made, it was understood that the most suitable wall model in terms of total Life Cycle Cost in the permanent residences of Düzce province built as mass housing is Aerated concrete wall. However, it is understood that there is no significant difference (1,8%) in terms of Life Cycle Cost between Pumice&brick wall and Brick wall in accordance with TS-825, both of them can be accepted as the same, but the highest life cycle cost is in concrete wall.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK

In this study, the life cycle costs of 5 different non-bearing wall models were analysed. In addition, other wall models for public housing can be investigated by performing life cycle analyses with other materials and wall sections. As a close study to this study, life cycle analyses of masonry wall models were performed in a study conducted by Deniz Üçer using "SimaPro" programme. In the study, brick wall, natural stone wall, aerated concrete wall and adobe wall life cycle analyses of the types of walls were performed. The production phase, assembly phase, maintenance and repair phase, useful life and end of life phases of these walls were analysed. After all these evaluations and analyses, it was determined that "adobe wall" is the most suitable wall model in terms of life cycle cost among the 4 masonry wall models examined: brick wall, natural stone wall, gas concrete wall and adobe wall [32]. Life cycle analyses should be performed for the whole structure, including not only the exterior wall but also other elements of the structure. During the design process of the buildings, the life cycle costs of the materials, building elements and building components to be included in all elements and sections of the building should be analysed together with the initial construction costs for both load-

bearing elements and non-bearing elements. Thus, it is thought that in our world where natural resources are limited and the population is increasing rapidly, the most suitable cross-section, material and structural elements can be created in terms of buildings and the projects can be environmentally friendly, economical and sustainable in terms of design and implementation. Both life cycle costs and initial investment costs can be transformed into regional categorical data and data pools can be created by converting factors such as geographical conditions of the region where the buildings are located, climate characteristics, distance to raw material resources, raw material and product supply opportunities. Thus, both life cycle costs and initial construction costs for each building can be determined and comparisons can be made to determine the most appropriate materials, sections, etc. for each building. It is evaluated that if all stages starting from the design phase of the buildings are carried out in accordance with these conditions, there will be multifaceted benefits in uncountable dimensions and dimensions such as the protection of nature, protection of the environment, construction of economic buildings, optimum use of country resources in terms of buildings. For this reason, both the initial construction cost and life cycle costs of each building should be requested by making necessary legal arrangements, necessary revisions should be made in the projects for life cycle costs that are not suitable for regional conditions and categorical classifications, and these practices should be systematised. Similar applications have been made in both Earthquake Regulations and TS-825 Standard. Our cities have been defined by dividing into 4 different categories in this Regulations and Standard [33]. It is considered that a similar application can be made for life cycle analyses, and the cities where the buildings are located should be classified in terms of life cycle analysis parameters such as raw materials, production, transport, loading-unloading, environmental pollution, soil properties, water resources, etc. with the regulation to be issued, and life cycle analyses should be requested by the relevant authorities together with the projects of the buildings and the projects should be implemented after their approval.

1. GİRİŞ

Binalar insanların sosyal ve fiziksel ihtiyaçlarını karşılarken yapım, kullanım, söküm ve yeniden kullanım aşamalarında çeşitli çevresel etkilere ve sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bu süreç yapı malzemelerinin üretiminde kullanılan hammaddenin çıkarılmasıyla başlamakta olup, hammaddelerin üretim alanına nakliyesi, fabrikada ürünün imal edilmesi, inşaat alanına nakliyesi, yerine takılması, kullanımı, bakım onarımı, bertaraf edilmesi ve yeniden kullanımına kadar olan pek çok aşamayı da kapsamaktadır [1]. Hammadde çıkarılması kaynak tüketimiyle birlikte arazilerin zarar görmesine, eko-sistemin bozulmasına, toprağın, havanın ve suyun zehirlenmesine yol açmaktadır [2]. İnşaat malzemeleri için hammadde çıkarılması, fabrikada işlenmesi, inşaat alanında yerine takılması ve nakliye edilmeleri sırasında ortaya çıkan emisyon miktarı, toplam havaya verilen emisyonların %86'sını oluşturmaktadır [3, 4]. İnşaatlar, küresel ölçekte doğal kaynak tüketiminin %24'ünden sorumludur [5]. Dünyadaki ekolojik dengenin bozulmasının sektörel bazda etkileri incelendiğinde, inşaat sektörü, küresel ısınmaya sebep olan karbondioksit (CO₂) gazı üretiminin %40'ından; su kullanımının %12'sinden, atıkların %65'inde ve elektrik tüketiminin ise %71'inden sorumlu tutulmaktadır [6]. Bu veriler inşaat sektörünü, kaynak tüketimi ve çevresel zarar bağlamında diğer sektörler arasında ilk sıraya yerleştirmektedir. Bunlara ek olarak inşaat ve yıkım süreçlerinde oluşan atıklarda, şehirlerde oluşan çöp miktarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

Dünyadaki kaynakların kısıtlı olması ve hızla tükenmesi inşaat sektöründe faaliyet gösteren tasarım, mimarlık, peyzaj mimarlığı, uygulayıcı ve malzeme üreticisi firmaların sürdürülebilirlik konusuna olan ilgisini arttırmış ve sürdürülebilirlik önemli bir parametre haline gelmiştir. Dünyada "sürdürülebilirlik" kavramı 1960'lardan beri gündemde olmasına rağmen "sürdürülebilir bina" ve onun alt bileşeni olan "sürdürülebilir yapı malzemesi" kavramları son on yılda daha sık gündeme gelmeye başlamıştır [7]. Binaların kaynak kullanımının ve çevresel etkilerinin azaltılmasını amaçlayan sürdürülebilirlik kavramı "bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların da kendi gereksinimlerini karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak" olarak tanımlanmaktadır [8,

9]. Sürdürülebilirliğin alt unsurları olarak sürdürülebilir mimarlık ve sürdürülebilir yapı malzemesi kavramları tanımlanmıştır.

Binaların tasarımı, üretimi, kullanım ve söküm-yıkım süreçlerinde çevrelerine verdikleri olumsuz etkilerin belirlenebilmesi, ölçülebilmeleri ve sonrasında azaltılabilmesi için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiş olup (Karbon Ayak izi Analizi ve Eko Etiketleme gibi) Yaşam Döngü Değerlendirmesi yöntemi bunlardan biridir. Yaşam Döngü Değerlendirmesinin başlangıcı malzeme ve enerji kaynaklarında sıkıntı çekilen 1960'lara dayanmaktadır. [10]. Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD), “ürünleri ve süreçleri tüm yaşamları boyunca değerlendiren, çevresel etkilerini net sonuçlarla ifade eden bilimsel bir yöntem” olarak öne çıkmaktadır. YDD, bir yapı malzemesi ve binanın üretiminde hammaddenin çıkarılması, üretimi, dağıtımı, kullanımı ve bertarafı sürecinde, sistemdeki malzeme, enerji akışını ve çevresel etkileri tespit etmek için kullanılmaktadır [11]. Avrupa Birliği'nde yapılan araştırmalar, inşaatların, binaların yaşam döngüleri boyunca inşa edilme, kullanım, bakım ve yıkım aşamaları toplam enerji kullanımının %50'sinden, karbondioksit gazı oluşumunun ise yine neredeyse %50'sinden sorumlu olduğunu raporlamıştır [12]. Ülkemiz, enerjisinin %75'ini ithal etmektedir. Türkiye'deki binaların enerji verimliliğini arttırarak cari açığın %20'sinin kapatılabileceği, enerji açısından dışa bağımlılığın ise %30'lara kadar indirilebileceği bildirilmektedir [13]. Doğal kaynakların azalması, hızlı nüfus artışı, iç ve dış göçlerin artarak devam etmesi, hızlı sanayileşmenin sonucu olarak “yapılaşma” kaçınılmaz hale gelmiştir. Nüfus artışları, göç, sanayi faaliyetleri özellikle de depremlerden sonra il bazında ve genel olarak da ülkemiz bazında Toplu Konut Yapımını zorunlu hale getirmiştir. Toplumun her ekonomik gelir durumuna hitap edebilecek nitelikte sosyal donatıları ile birlikte ihtiyaç üzerine “Toplu Konut” yapımına başlanmıştır. Özellikle 1999 yılında yaşanan depremlerden sonra acil olarak çözülmesi gereken Toplu konut ihtiyacı oluşmuş ve Devletimiz tarafından “Toplu Konut” yapımına başlanmıştır. Toplu konut yapımına devam edilerek toplumun özellikle konut ihtiyacı karşılanmaya çalışılmıştır. Özellikle depremlerle birlikte yaşanan sosyal ve ekonomik travmalarla birlikte dünyada yaşanan ekonomik krizlerin de etkisi gibi nedenlerle şehirlerimizde arzu edilen düzeyde sürdürülebilir kentleşme politikaları izlenememiştir [14]. Bu durum hem sürdürülebilir kentleşme hem de çevre kirliliği açısından çeşitli sorunlara neden olmuştur.

Sürdürülebilirlik, ilk kez 1987'de Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanan Brundtland raporunda ayrıntılı olarak ele alınmış ve “bugünün

gereksinimlerini, gelecek kuşakların da kendi gereksinimlerini karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak” olarak tanımlanmıştır [8]. Sürdürülebilirliğin gerçekleşmesi için yenilenebilir doğal kaynakların tüketiminin doğanın üretebilme kapasitesini aşmaması gerekmektedir [15]. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarının inşaat sektörünü de kapsamı istenmektedir. [16]. Sürdürülebilirlik sosyal, ekonomik ve çevresel alt öğelerden oluşmaktadır. Çevresel olarak ürünleri değerlendirebilmek için sadece ürünü değil, ürünün üretim süreçlerini ve muhteviyatını bilmek gerekmektedir. Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD) yöntemi bu konuların hangi kapsamda ve nasıl inceleneceğine ilişkin olarak geliştirilmiş bir yöntemdir.

Tüm malzemeler ekolojik bağlamda bir yaşam döngüsü içerisinde oluşmakta, yok olmakta veya yeniden oluşturulmaktadır. Bir ürünün yaşam döngüsünün aşamalarından oluşan girdiler (kaynaklar, enerji ve su) ve çıktılar (yayılımlar, atıklar ve katı atıklar) ekosistemi, dünyayı ve insan sağlığını çeşitli şekillerde ve düzeylerde etkilerler. YDD hammadde elde edilmesinden yok edilmesine kadar geçen süreçteki her tür çevresel etkiyi bütüncül olarak değerlendirir. YDD çevresel değerlendirmeye kapsamlı ve sistematik bir yaklaşım getirmektedir. Bu sebeple inşaat, gıda, turizm ve hammadde elde edinimi gibi sektörlerde çevresel sürdürülebilirlikler söz konusu olduğunda tercih edilmektedir [17, 18]. YDD yapılmasının ilk amacı ürün veya süreç geliştirmedir. Sonrasında ise “maliyet azaltma”, “karar verme” ve “çevresel önlemler alma” gelmektedir [19]. Yaşam Döngü Değerlendirmesinin başlangıcı malzeme ve enerji kaynaklarında sıkıntı çekilen 1960'lara dayanmaktadır. [10]. Bu kapsamda 1979 yılında Amerika'da Çevre Toksikoloji ve Kimya Örgütü (SETAC) kurulmuştur. Midwest Research Institute 1996'da yaptığı çalışmada kaynaklar, emisyonlar ve farklı paketlemelerden oluşan atıklara ilişkin bir rapor düzenlemiştir. 1980'lerde Bekker'in yenilenebilir kaynaklar üzerine yaptığı çalışma ile YDD inşaat sektörünün de dikkatini çekmiştir [20]. 1990'larda bazı standartlar geliştirilmiştir [10]. 1994 yılından sonra International Organization for Standardization (ISO) konuya dâhil olarak 1997 yılında ilk defa basılan 14040 standart serisini oluşturmuştur [21]. Bu standart serisi, yöntem açısından bir çerçeve oluşturmuş ve farklı YDD çalışmalarının karşılaştırılabilmesi açısından kolaylık sağlamıştır. 2000 yıllarından sonra SETAC yaşam döngü değerlendirmesi konusunda terminoloji ve metodolojiyi kapsayan “Code of Practice” (Uygulama Kuralları) yayınlamıştır [22]. 2003 yılında SETAC "Yaşam Döngü Girişimi" sonucu binalarda ve inşaatlarda yaşam döngü

değerlendirmesi adıyla sektöre bir rapor hazırlamıştır. Bu çalışma genel YDD ile binalar için yapılmış olan YDD arasındaki farkları ortaya koymaktadır. Bu standartları ISO ve Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) devam ettirmiştir. ISO Teknik Komitesi (TC) ve alt komitesi “Bina inşaatında sürdürülebilirlik” adında binaların sürdürülebilirliği hakkında bir çerçeve ve Çevresel Ürün Beyanı (EPD) uygulamaları hazırlayarak, 4 standart olarak yayınlamıştır. CEN (TC) “İnşaat işlerinde sürdürülebilirlik” adıyla sürdürülebilirlik için önemli olan ekonomik, ekolojik ve sosyal beklentileri karşılaması için yeni bir standart geliştirmeye başlamıştır [23]. Avrupa da “Uluslararası Referans Yaşam Döngü Data Sistemi El Kitabı” 2010 yılında basılmıştır [24]. Kitap, ISO serisini tamamlayan yaşam döngü değerlendirmesini pratikte uygulamaya yardımcı olmak için yazılmıştır. SETAC ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ile birlikte “Yaşam döngüsü girişimi” ni başlatmıştır. Teknik komitenin çalışmaları 2012 yılı ocak ayında EN15804 “İnşaat işlerinde sürdürülebilirlik, çevresel ürün deklarasyonu-İnşaat malzemelerinde Ürün Kategori Kuralları (PCR) olarak tamamlanmıştır [25]. Bu kurallar, “Sürdürülebilir bina ve sürdürülebilir yapı malzemesi” tanımını kapsamında havaya, suya ve toprağa daha az zarar veren, daha az enerji harcayan binalar ve yapı malzemeleri üretmeye zorlamaktadır. Ancak, ekolojik açıdan daha faydalı ürünler elde etmek için mevcut malzemelerin etkilerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, Düzce de 1999 yılında ki depremlerden sonra yapılan ve yaklaşık 20 yıldır kullanılmakta olan Kalıcı Konutlarda örnek olarak seçilen tip binaların Taşıyıcı Olmayan Dış Duvarları YDD yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmada, yapının dış duvarlarını oluşturan malzemelerinin çevresel etkileri, YDD yöntemiyle tespit edilerek çevresel etkileri malzeme bazında tüm yaşam döngü süreçlerini kapsayacak şekilde analiz edilmiş, yaşam döngü maliyetleri belirlenmiş ve nihai yaşam döngü maliyetleri tespit edilerek toplam 60 yıllık servis ömrü için değişimler karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Binaların kaynak kullanımının ve çevresel etkilerinin azaltılmasını amaçlayan sürdürülebilirlik kavramı “bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların da kendi gereksinimlerini karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak” olarak tanımlanmaktadır [8, 9]. Sürdürülebilirliğin alt unsurları olarak sürdürülebilir mimarlık ve sürdürülebilir yapı malzemesi kavramları tanımlanmıştır. Binaların tasarımı, üretimi, kullanım ve söküm-yıkım süreçlerinde çevrelerine verdikleri olumsuz etkilerin belirlenebilmesi, ölçülebilmesi ve sonrasında azaltılabilmesi için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiş olup (Karbon Ayak izi Analizi ve Eko Etiketleme gibi) Yaşam Döngü Değerlendirmesi yöntemi bunlardan biridir [10]. Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD), “ürünleri ve süreçleri tüm yaşamları boyunca değerlendiren, çevresel etkilerini net sonuçlarla ifade eden bilimsel bir yöntem” olarak öne çıkmaktadır. YDD, bir yapı malzemesi ve binanın üretiminde hammaddenin çıkarılması, üretimi, dağıtımı, kullanımı ve bertaraf sürecinde, sistemdeki malzeme, enerji akışını ve çevresel etkileri tespit etmek için kullanılmaktadır [11]. Avrupa Birliği’nde yapılan araştırmalar, inşaatların, binaların yaşam döngüleri boyunca inşa edilme, kullanım, bakım ve yıkım aşamaları toplam enerji kullanımının %50’sinden, karbondioksit gazı oluşumunun ise yine neredeyse %50’sinden sorumlu olduğu belirtilmiştir [12].

“Toplu Konutlarda Taşıyıcı Olmayan Dış Duvarların Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD) Yöntemiyle İncelenmesi, Düzce Örneği” adlı bu çalışma 1999 yılındaki depremlerden sonra yapılmış olan, 14 ayrı bölge ve 18 tip blok olarak yapılan 7000 konutluk bir toplu konut yapılmıştır. Çalışma bu binalardan seçilen tip bir binanın dış duvar kesiti dikkate alınarak yapılmıştır. Toplu konut olarak yapılan binaların blok tiplerine göre blok adedi, toplam daire adedi, kat adedi, normal kat brüt alanı, kattaki daire sayısı, bloktaki daire sayısı ve toplam inşaat alanları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir [27].

Çizelge 2.1. Kalıcı konutların blok bazında sayıları ve blok özellikleri.

Blok Tipi	Blok Adedi	Daire Adedi	Kat Adedi	Normal Kat Brüt Alanı (m ²)	Kattaki Daire Sayısı	Daire Sayısı	Tip İnşaat Alanı (m ²)	Yaklaşık Duvar Yüzey Alanı (m ²)
BB	59	354	B+Z+2	99,8	2	6	50528,78	22302
CB	2	12	B+Z+2	99,4	2	6	1767,64	756
CBK	16	96	B+Z+2	99,4	2	6	14141,12	6048
EB	28	336	Z+2	99,8	4	12	52129,28	39798
ES	46	644	Z+2	98,5	4	12	85640,96	43686
FS	76	1064	B+Z+2	99,08	4	14	139310,28	50166
FI	62	868	B+Z+2	99,8	4	14	113647,86	47142
FK	23	322	B+Z+2	99,08	4	14	42159,69	38718
FBI	39	624	2B+Z+2	99,08	4	16	89390,73	42165
FBK	8	128	2B+Z+2	99,08	4	16	18336,56	31005
FBS	63	1008	2B+Z+2	99,08	4	16	144400,41	50805
GS	30	180	Z+2	99,8	2	6	27387,6	11340
Top.	636	5636	x	1191,9	x	138	778840,91	383931

Düzce ili kalıcı konutlardaki konut tipleri BB, CB, CBK, EB, ES, FS, FI, FK, FBI, FBK, FBS ve GS olup bu konutların dış cephe yüzey alanları toplamı yaklaşık 384.000 m² olarak alınmıştır. Konutların dış duvar kesitlerinde yer alan malzemelerin kalınlıkları ve ısı iletim katsayıları Çizelge 2.2’de verilmiştir [27, 28].

Çizelge 2.2. Konutların dış duvar kesitindeki malzemeler (dıştan içe doğru).

Dış Duvar Kesiti	Dış Sıva (27.501)	Extrude Polistren Köpük	Yapıştırıcı Harç	Düsey Delikli Hafif Tuğla Duvar 240x240x235 (18.031/7)	Alçı Sıva (27.528)
Malzemenin Kalınlığı “d” cm	2	3 cm	1	24	0,3
Isı iletim Katsayısı “λ” (W/mK)	1,4	0,04	1,4	0,68	0,7

İncelenen blokların dış duvar kesitlerinde yer alan ve özellikleri yukarıda ki tabloda verilen yapı malzemelerinin üretimi, dağıtımı, kullanımı ve bertarafı süreçlerinde çevrelerine verdikleri olumsuz etkiler ve bunların maliyetleri YDD ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar malzeme, enerji akışı ve çevresel etkiler açısından hem yeni yapılacak toplu konutlar hem de ekonomik ömrünün yaklaşık 20 yılını tamamlamış olan kalıcı konutlar için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRME (YDD) YÖNTEMLERİ

Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD); ürünlerin tüm yaşamı boyunca hammadde edinimi, üretim, satış, uygulama, kullanım ve servis ömrü bittikten sonra geri dönüşüm/yok etme süreçlerinde çevresel etkilerinin değerlendirilmesidir [8], [9]. Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency-EEA) YDD'sini "hammadde kullanım etkinliğinin artırılacağı ve yükümlülüklerin azaltılacağı, ürünün tüm yaşamı boyunca çevre üzerine etkisini değerlendirmek için kullanılan bir yaklaşım" olarak tanımlamaktadır [10]. YDD'nin ilk ortaya çıkışı ve gelişimi Avrupa Çevre Ajansının "LCA, A Guide To Approaches, Experiences and Information Sources" (1997) çalışmasında, Hans de Bruijn vd.'nin "Hand Book On LCA" (2002) çalışmalarında ve Göran Finnveden vd.'nin "Recent Developments in Life Cycle Assessment" (2009) isimli makalelerinde görülmüştür.

YDD ile tüm ürünler için çevresel etki değerlendirilmesi yapılabilir. Bu kapsamda YDD ile yapı ve yapı ürünlerinin değerlendirilmesi de yapılabilmektedir. YDD metodu ISO (The International Organization For Standardization), Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme-UNEP), Çevresel Zehir ve Kimya Derneği (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry-SETAC) ve Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency-EEA) tarafından kullanılarak küresel bir çalışma alanına dönüşmüştür. YDD yöntemi ile ilgili standartların geliştirilmesine 1990'lı yıllarda başlanmıştır. Bu kapsamda, YDD' nin genel ilkeleri, teorisi ve uygulamalarının geliştirilebilmesi amacı ile SETAC çalışmalar yapmaya başlamıştır. Bu çalışmalardan kısa süre sonra SETAC "Code of Practice" [SETAC, 1993] adlı çalışmada SETAC, YDD'nin Uygulama Kodlarını yayınlamıştır. Bu çalışma ile YDD çok yönlü kullanılabilirlik özelliği kazanarak birçok alanda kullanımına ortam sağlanmıştır [10], [12], [13], [14], [15], [16]. Bu gelişmelerin yanında Uluslararası Standartlarda da birçok gelişme, yenilik ve düzenlemeler yapılarak ISO 14040 Çevre Yönetimi- Hayat Boyu Değerlendirme Standardı oluşturulmuştur. Bu standartta ürünlerin hammaddeden yok edilene kadar ki süreçlerinin çevreye etkileri açısından değerlendirilen çevre yönetim metodu tanımlanmıştır. Çalışmalara devam edilmiş ve 2006 yılında ISO 14040; Çevresel Yönetim-Hayat Boyu Değerlendirme Prensipleri ve Çerçevesi, ISO 14044; Çevresel Yönetim- Hayat Boyu Değerlendirme Gereksinimleri ve Kılavuzları standartları hazırlanmıştır [14], [17].

Aynı zaman dilimlerinde YDD ile ilgili akademik çalışmalarda hız kazanmış ve nitekim 1996 yılında Mary Ann Curran yayınladığı “Environmental Life Cycle Assessment” adlı çalışmasında YDD’nin amaç ve ilkelerini açıklamış ve çalışmalarına devam edip 2006 yılında çalışmasını güncelleyerek “Life Cycle Assessment: Principles and Practise” olarak yayınlamıştır. YDD farklı alanlarda farklı amaçlarla kullanılmaya devam edilmiş ve oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur. YDD’nin amacı;

- Doğal kaynakların korunması,
- Çevresel kirliliğin önlenmesi,
- Çevresel eşitliğin sağlanması,
- Çevre ile ilgili yasa ve yönetmeliklerin gelişmesi,
- Çevre yönetim sistemlerinde çevresel performans değerlendirmesinin gelişmesi,
- Çevreye duyarlı ürünlerin üretiminin sağlanması,
- Ürün gelişimi ve kullanımı sonucu oluşan toplam çevresel etkilerin ve sağlık risklerinin azaltılması olarak belirtilmektedir [23].

Bu amaçlarla çalışmalara devam edilmiş ve 2016 yılında Olivier Jolliet vd.’nin yaptıkları “Environmental Life Cycle Assessment” isimli çalışmalarında ise çevresel etkilerin azaltılması, minimum kaynak tüketimi ve minimum atık üretimi ilkesine dayandırılmıştır. Bununla birlikte ISO 14040 standartlarında YDD ile ilgili olarak dört aşama tanımlanmaktadır. Bunlar;

- Çalışmanın tanımlanması,
- Yaşam döngüsü veri çözümlemesi,
- Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve
- Değerlendirmenin yorumlanmasıdır.

YDD metodunun kullanılmasında ki en önemli amaçlardan biri faaliyetlerimizin çevreye duyarlı ve uyumlu olacak şekilde planlanması, uygulanması ve sürdürülebilir olmasının sağlanmasıdır. YDD’nin ilkeleri genel olarak [10], [23];

- Çevresel yüklerin tanımlanması ve miktarının belirtilmesi (hammadde temini, işlenmesi, ürün elde edilmesi, atık oluşumu, bertaraf vb. her safha için ihtiyaç duyulan ve/veya kullanılan enerji)
- Olası çevresel sorunların etki düzeylerinin değerlendirilmesi,

- Çevresel sorunlardan korunmak ve azaltmak için var olan seçeneklerin değerlendirilmesi ve en uygun olanının seçimi olarak üç başlık altında toplanabilmektedir.

YDD' analizinde kullanılan yöntemlerin bir kısmı yapının tamamını değerlendirirken bir kısmı ise yapı ürünü bazında değerlendirme yapmak amacı ile kullanılabilir. Yapının bütününe değerlendirildiği metotlar BREEAM, LEED, Green Star ve DGNB gibi yeşil bina değerlendirme sistemleridir ve kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Bunlardan BREEAM, 1990 yılında İngiltere'de Yapı Araştırma Kurumu tarafından, LEED 1998 yılında ABD'de Amerikan Yeşil Bina Konseyi tarafından geliştirilen metotlardır. 2002 yılında Avustralya Yeşil Bina Konseyi Green Star yeşil bina sertifika sistemi ile sürdürülebilirliği yaygınlaştırmak istemiştir. 2008 yılında Almanya'da geliştirilen DGNB ise sürdürülebilirliğin sağlanması amacı ile kullanılmaya başlanmıştır. Yapıyı genel anlamda bütün olarak değerlendiren bu sistemler aynı zamanda yapı ürünlerini de dikkate alarak malzeme cinslerine göre puanlama yaparak ta incelemelerin yapılmasına imkân sağlamaktadır [34], [35], [36], [37].

Ülkemizde de bu konu yakından takip edilmiş ve standartların oluşturulması çalışmalarına Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından başlanmıştır. Nitekim Temmuz 2013'te "Güvenli Yeşil Bina Belgesi" çalışmaları yapılmıştır. 2013 yılında Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK) tarafından "Yeşil Konut Sertifikası"nın taslağı hazırlanmış ve Ülkemizde ilk yerli yeşil bina konut sertifikası olan ÇEDBİK-Konut 2016 yılında hayata geçirilmiştir [38]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından da 2014 yılı aralık ayında yayınlanan yönetmelik revize edilmiş ve 2017 yılı aralık ayında "Binalar ve Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği" yayınlanmıştır [39].

3.1. YAPI ÜRÜNLERİNİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ

Yapı, fiziksel olarak birçok ürünün bir araya getirilmesinin sonucunda ortaya çıkar ve üretim sürecinin son ürünü ya da çıktısıdır. Gezegenimizde yapı ürünü üretiminde gerek tek başına gerekse diğerleri ile birlikte hammadde olarak yararlanılmaya elverişli gereçler bulunmaktadır. Doğada her amaca uygun gereç bulunmaz ve bu gereçler yapıya doğada bulunduğu biçimi ile girmemektedir. Yapay süreçlerle çeşitli işlemlerden geçirilen gereçler, amaca uygun ve birbirine göre daha çok bitirilmiş yapı ürünlerine dönüştürülmektedir [40]. Yapı ürünlerinin özellikleri; fiziksel, mekanik, teknolojik,

kimyasal, görünüş, estetik, çevresel, ekonomi ve bulunabilirlik olarak gruplandırılabilir. Tüm bu özelliklerin bilinmesi ve sayısal büyüklüklerle ifade edilebilmesi ürünlerin seçimini kolaylaştırmak için gereklidir [40]. Yapı ürünlerinin; yüksek üretim miktarı, uzun hizmet ömrü ve dünya üzerinde geniş bir kullanım alanına sahip olması çevre etkilerini önemli boyutlara taşımaktadır. Bu etkilerin en aza indirilmesi için kullanılan yöntemlerden biri de yapı ürünlerinin YDD ile değerlendirilmesidir. Yapı ürünlerinin yaşam döngü değerlendirmesi;

- Yapı ürününün tasarlanması,
- Hammadde edinimi,
- Yapı ürününün üretimi,
- Yapı ürününün satışı,
- Yapı ürününün yapıya uygulanması,
- Yapı ürününün kullanımı,
- Yapı ürününün ekonomik ömrü bittikten sonra; Geri dönüşümü ve yok edilmesi süreçlerini kapsamaktadır [41], [42].

Yapı ürünlerinin yaşam döngüsünün değerlendirmesi farklı programlar kullanılarak yapılabilmektedir. Bunlarda SimaPro (System for Integrated Environmental Assessment of Products -Ürünlerin Bütünleşmiş Çevresel Değerlendirme Sistemi) geliştirildiği kurum olan Pre Consultants'ın, GaBi ise kendi ismindeki internet sitesi üzerinden erişilebilen kılavuzlar ile anlatılmaktadır. İki programda yapı ürünlerinin çevresel performanslarını değerlendirmektedir. 1994 yılında ortaya çıkarılan BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability-Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik) geliştirildiği kurum olan NIST'in (National Institute of Standards and Technology-Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü) internet sitesi üzerinden yapı ürünlerinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır [43]. Bu analiz programları, çevre ve ekonomik performans değerlendirme yaparak yapı ürünlerinin çevre ve ekonomik performanslarına göre seçilmelerine olanak sağlayabilmektedirler. Ülkemizde yapı ürünlerinin YDD ile analizleri ve performanslarının belirlenmesi amacı ile bazı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan 2005 yılında Gökçe Tuna Taygun tarafından "Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik bir Model Önerisi" başlıklı doktora tezinde yapı ürününün yaşam döngüsü süreçlerindeki çevreler ile ilişkilerinin değerlendirilmesi

için denetim listelerinden oluşan ve kendi adının baş harflerini ifade eden (GTT) bir model önerdiği görülmüştür. Önerilen bu model beş adımdan oluşmakta ve bu modelde etki değerlendirilmesi sınır değerlere göre yapılmaktadır. Bu model Polivinil Klorür (PVC) doğramada uygulanarak sonuçları gösterilmiştir [40].

Diğer bir çalışma ise 2006 yılında “Yaşam Döngü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi” başlıklı doktora tezi ile Arzuhan Burcu Gültekin tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, duvar kâğıtlarının kullanım sürecinde bakım ve onarımının çevreye olan etkileri matrisler ile tanımlanan bir model ile ortaya konulmuştur [44].

Saniye Karaman Öztaş’ın (2014) “Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi” başlıklı doktora çalışmasında Türkiye’de üretilen yapı ürünlerinin yerel faktörlerin de göz önüne alınarak çevresel etkilerinin değerlendirildiği bir model tasarlanmıştır. Bu çalışmada, ulusal yapı ürünleri için çevresel etki kategorileri belirlenmiş, normalleştirme referans değerleri ve ağırlıklandırma katsayıları hesaplanmıştır. Model Polistren köpük üzerinden örneklenmiştir [45].

2018 yılında Neslihan Akın tarafından yapılan “Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Seçilen Bir Modelin Tuğla Örneği Üzerinden İrdelenmesi” adlı çalışmada, Gökçe Tuna Taygun “GTT” yaşam döngüsü değerlendirme metodu kullanılarak tuğlanın yaşam döngü değerlendirme analizi yapılmıştır. Bu kapsamda, Tuğlanın yaşam döngüsü süreçleri, süreçlerdeki çevreyi etkileyebilecek çıktılar ve etkilenen çevre grupları incelenmiş ve Turgutlu’da yer alan bir üretim tesisinden elde edilen veriler doğrultusunda çevre etkileri tespit edilmiştir [46].

Deniz Üçer tarafından 2012’de yapılan “Benzetim Tekniği İle Kagir Duvar Çeşitlerinin Yaşam Döngü Değerlendirilmesi” çalışmasında, yığma duvarların yaşam döngü analizleri “SimaPro” ile yapılmıştır. Yığma duvar olarak tuğla duvar, doğal taş duvar, gaz beton duvar ve kerpiç duvar türlerinin yaşam döngü analizleri incelenmiştir. Bu yığma duvarların üretim aşaması, montaj aşaması, bakım-onarım aşaması, faydalı kullanım ömrü ve yaşam sonu aşamaları analiz edilmiştir. En uygun duvar modelinin “kerpiç duvar” olduğu tespit edilmiştir [32].

4. BEES YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

4.1. BEES'E GİRİŞ

Yapı paydaşları, sürdürülebilir bina ürünleriyle ilgili kararları desteklemek için pratik ölçümlere, verilere ve araçlara ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyacın karşılanmasına yardımcı olmak için, Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nün (NIST) Mühendislik Laboratuvarındaki (EL) Uygulamalı Ekonomi Ofisi (AEO), yapı ürünlerinin sürdürülebilirliğini analiz etmek için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik (BEES) olarak bilinen bir yazılım geliştirmiştir. BEES'in ilk sürümü 1997'de bir masaüstü uygulaması olarak yayınlanmıştır. 2000'ler boyunca birkaç güncellenmiş sürüm yapılmıştır. 2010 yılında, BEES, BEES Online adlı web tabanlı bir uygulamaya dönüştürülmüştür. NIST tarafından finanse edilen çalışmalarla BEES Online'da 30'dan fazla ürün kategorisinde 230'dan fazla ürün çeşidi mevcuttur. AEO, BEES Online'da bulunan yapı ürünleri için sürdürülebilirlik sonuçlarını güncellemek için BEES çerçevesini yeni ve güncellenmiş veri kaynakları, metodolojileri ve süreçleriyle birlikte kullanan BEES Online 2.0 adlı yeni bir BEES Online sürümü geliştirilmiştir [30], [43].

4.1.1. BEES Model

BEES metodolojisi, birden çok sürdürülebilirlik kriterini göz önünde bulundurarak çok boyutlu bir yaşam döngüsü yaklaşımı benimsemektedir. Bir yapı ürününün tüm ömrü boyunca maruz kaldığı çevresel, ekonomik ve sosyal etkiler değerlendirilmelidir. Bu nedenle birden fazla etkiyi ve yaşam döngüsü aşamasını dikkate almak gerekir, çünkü bir kritere veya yaşam döngüsü aşamasına dayalı ürün seçimi kararları, eşit veya daha büyük hasara neden olabilecek diğerlerini gizleyebilir. Son zamanlarda iklim değişikliğine odaklanmadaki artış dikkate alındığında, “karbon nötr” ürün etiketlenmesinde yalnızca malzemelerin üretimi nedeniyle salınan karbon miktarı dikkate alınır, ürünün kullanımı, bakımı, değişimi ve/veya bertarafı gibi diğer yaşam döngüsü aşamalarında salınan karbonu göz ardı edilebilir. Tek etkili odaklanma, bir ürünün yararlı ömrü boyunca potansiyel olarak neden olabileceği duman oluşumu, asit gazlarının etkileri veya su tüketimi gibi diğer çevresel etkileri hariç tutar. Bu diğer çevresel etkilerin hariç

tutulması, bir ürünün faydalı ömrü boyunca maliyet-rekabet gücü ve/veya sosyal etkileri dikkate alınmaması durumunda ürünün gerçek sürdürülebilirliği yeterince değerlendirilemez. Başka bir deyişle, ürün sürdürülebilirliği oluşturmaya yönelik kapsamlı ve dengeli bir analiz için çok boyutlu bir yaşam döngüsü yaklaşımı gereklidir. Başlangıç maliyetlerine göre ürün seçmek nispeten kolaydır çünkü yapı ürünleri pazarda alınıp satılabilir. Ancak, bir ürün üretildikten sonra gerçekleşen maliyetler genellikle satın alma kararlarında göz ardı edilir. Bazı ürünler diğerlerinden daha uzun ömürlüdür ve ürünlerin ne zaman değiştirilmesi gerektiği ve bunlarla ilişkili gelecekteki maliyetleri dikkate alınmalıdır. Daha da zor olanı, satın alma kararlarımıza yaşam döngüsü çevresel etkilerini dâhil etmektir. Küresel ısınma potansiyeli (GWP), su kirliliği ve kaynak tükenmesi gibi çevresel etkiler genellikle ürünlerin piyasa fiyatlarına yansıtılmayan ekonomik dış etkileridir. Üstelik bugün piyasa fiyatlarına çevresel “maliyetleri” dâhil etme zorunluluğu olsa bile, bu etkileri ekonomik açıdan değerlendirmedeki zorluklar nedeniyle bunu yapmak neredeyse imkânsızdır. Ekonomistler onlarca yıldır temiz havaya, temiz suya ve insan sağlığına nasıl değer verileceğini tartışmaktadırlar ve kısa vadede fikir birliği olası görünmemektedir [30].

Çevresel performans tipik olarak parasal bir ölçekte ölçülemezken, birden çok yaşam döngüsü aşamasındaki çoklu etki kategorilerini ele alan çevresel Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) olarak bilinen çok disiplinli yaklaşım kullanılarak ölçülebilir. BEES metodolojisi, Uluslararası Standardizasyon Örgütü “ISO 14040 ve 14044” standartlarının 2006-a, 2006-b rehberliğini izleyerek çevresel performansı LCA kullanarak ölçülebilir [47], [48]. Bu çevresel performans ölçümleri daha sonra “Çok Nitelikli Karar Analizi” için American Society for Testing and Materials (ASTM) standardı (ASTM, 2016) kullanılarak genel bir performans ölçüsü olarak sentezlenebilir. Ekonomik performans, ASTM Uluslararası standart yaşam döngüsü maliyeti (LCC) yaklaşımı (ASTM, 2015) kullanılarak ölçülebilir. Tüm BEES analizleri için, yapı ürünleri, yapı elemanları için ASTM standart sınıflandırması olan UNIFORMAT II'ye (ASTM,2015-e) göre tanımlanmakta ve sınıflandırılmaktadır [49].

4.2. ÇEVRESEL PERFORMANS

Çevresel LCA, çevresel performansı ölçmek için "beşikten mezara" bir sistem yaklaşımıdır. Yaklaşım, bir ürünün kullanım ömrünün tüm aşamalarının çevresel etkiler yarattığı ve bu nedenle hammadde edinimi, ürün imalatı, nakliye, kurulum, çalıştırma,

bakım ve nihayetinde geri dönüşüm ve atık yönetimi dâhil olmak üzere analiz edilmesi gerektiği mantığına dayanmaktadır. Bu aşamalardan herhangi birini dışlayan bir analiz sınırlı bir analiz olup böyle bir analizde ilgili aşamaya özgü süreçlerin yukarı ve aşağı yöndeki tüm etkileri doğal olarak göz ardı edilmiş olur. LCA analiz yöntemi tüm aşamaları kapsayan çok boyutlu bir analiz yöntemidir. Bazı yeşil ürün iddiaları ve stratejileri, tek bir yaşam döngüsü aşamasına veya tek bir çevresel etkiye dayanmaktadır. Bu tek özellikli iddialar yanıltıcı olabilir çünkü diğer yaşam döngüsü aşamalarının veya diğer çevresel etkilerin dengeleyici etkiler yaratma olasılığını göz ardı ederler. Örneğin, geri dönüştürülmüş içeriğe sahip bir ürün, yüksek performanslı iyi bir yakıt içeriğine sahip olabilir ve bu da “hammadde edinimi, üretimi ve nakliye” yaşam döngüsü aşamalarında fosil yakıt tükenmesine, Küresel ısınma potansiyeline (GWP), ve asit yağmuru etkilerine yol açabilir. Dolayısıyla LCA, çevresel sorunların bir yaşam döngüsü aşamasından diğerine veya bir çevresel ortamdan (kara, hava, su) diğerine olası değişimlerini hesaba katarak çevresel tartışmayı genişletir. LCA yaklaşımında bir etkinin değişimini incelemekten ziyade, yaşam döngüsü içinde genel etkilerin nerede azaltılabileceğini belirlemek için analiz yapılabilmektedir. Genel olarak LCA metodolojisi dört adımı içerir (ISO, 2006-a, 2006-b) [47], [48].

1. Amaç ve kapsam tanımı
2. Envanter analizi
3. Etki değerlendirilmesi
4. Yorumlama

Amaç ve kapsam tanımlama adımı, çalışmanın amacını, genişliğini ve derinliğini ana hatlarıyla belirtir. Envanter analizi adımı, tüm yaşam döngüsü boyunca bir bina ürünüyle ilişkili çevresel girdileri ve çıktıları tanımlar ve nicelendirir. Sonuçların nicelendirilmesi ve bir araya getirilmesi, temel akış girdilerini (örneğin: su, fosil yakıtlar, mineraller gibi yeryüzü kaynakları) içeren LCI (Life-Cycle Inventory) “Yaşam Döngü Envanteri” olarak adlandırılır. Temel akış çıktıları havaya, karaya ve suya salınımları içerir. LCI çıktısı büyüktür ve tek tek öğelerine anlam atamak zordur. Bununla birlikte, LCI akışlarının sonuçları veya bunların çevreyi ve insan sağlığını potansiyel olarak nasıl etkileyebileceğiyle ilgilenilmekte ve bu belirleme, etki değerlendirme adımıyla yapılmaktadır. Etki değerlendirme adımı, bir dizi çevresel etkiyle ilişkili olarak LCI sonuçlarındaki akışları karakterize eder. Örneğin, etki değerlendirilmesi; karbondioksit

(CO₂) ve diğ er sera gazı (GHG) emisyonlarının (örneğ in metan) GWP'ye etkileri ile ilişkilendirir. Son olarak, yorumlama aş amasında elde edilen sonuçlar LCA ç alışmasının amaçlarına uygun olarak değ erlendirilir [30].

4.2.1. Amaç ve Kapsam Tanımı

BEES Yaş am Dö ngü Değ erlendirmesi programının amacı, Kuzey Amerika'da satılan ürünler için alternatif ürünler oluşturmak amacı ile çevresel etkileri ölç mektir. Bu etkiler, bina topluluğ unun uygun maliyetli, çevre aç ısından tercih edilen bina ürünlerinin seç ilmesine yardımcı olmak için ekonomik performansla birleş tirilir. Amaç ve kapsam tanımları; sistem sınırlarının, kesme kriterlerinin, iş levsel birimin ve veri toplama stratejisinin tanımlanmasını içerir. Sistem sınırlarının tanımlanması, dahil edilecek birim süreçlerinin tanımlanmasını içerir. Birim süreç, girdi ve ç ıktı verilerinin nicelleş tirildiğ i LCI analizinde dikkate alınan en küçük unsurdur. Bir ürünün imalatı genellikle birç ok birim iş lemi içerir. Her birim süreç, bazıları diğ er yardımcı birim süreçlerini içeren birç ok envanter akış ını içerir. Sınır belirleme kuralları, özellikle birincil verilerin toplanması gerekenler olmak üzere, LCA'ya hangi birim süreçlerin dâhil edileceğ ini belirler.

BEES sisteminde, sınır belirleme kuralı üç karar kriterinden oluş ur. Her bir aday birim süreci için, ürün sistemine Kütle ve Enerji katkıları birincil karar kriterleridir. Bazı durumlarda Maliyet katk ısı üçüncü bir kriter olarak kullanılabilir. Bu kriterler birlikte, Ç izelge 4.1'de gösterildiğ i gibi sağlam bir tarama süreci oluşturur.

Ç izelge 4.1. Ürün sistemi sınırlarını belirlemek için karar kriterleri.

Yardımcı Malzeme	Ağırlık	Enerji	Maliyet	Sistem sınırları İçin de mi?
A				Evet
B				Evet
C				Evet
D				Hayır
E				Evet
F				Hayır
G				Hayır
H				Hayır
I				Evet

Katkı Düzeyi	Küçük	
	Büyük	

Bir malzemenin seçilebilmesi için en az bir karar kriterine büyük katkısı olmalıdır. Ağırlık kriteri A, B ve C malzemelerini seçer, Enerji kriteri E malzemesini seçer ve Maliyet kriteri ise I malzemesini seçer. Sonuç olarak, A, B, C, E ve I yardımcı malzemeleri üretmeye yönelik birim işlemler, sistem sınırlarına dâhil edilir.

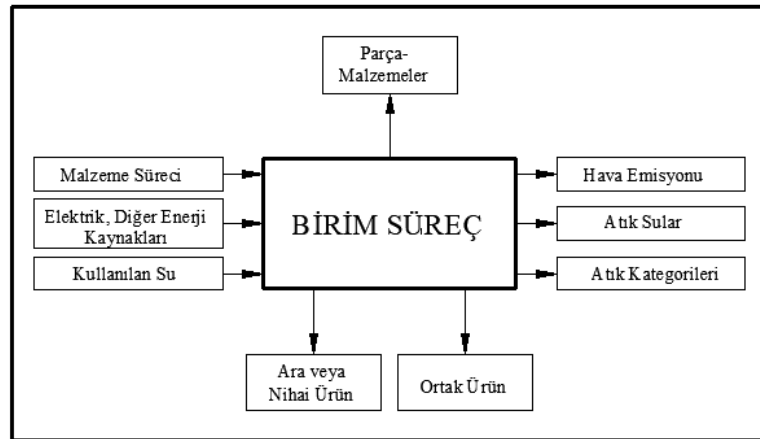
Sistem sınırında tanımlanan ve LCA veri tabanlarında arka plan verilerinin bulunmadığı her birim işlem için verilerin toplanması gerekir. Bir ürünün üretim işlemlerinden ve malzeme listesinden sorumlu üreticiler, veri toplamak için bir anket kullanabilir. Toplanan çıkışlar genellikle belirli endüstriyle ilgili olanlardır (örneğin, madencilikten “gelen partiküller”). Veri tabanları, ürünlerin tanımlı birim süreçleri için destekleyici veriler olan arka plan veri setleriyle ilgilenir. Arka plan verileri; malzemeleri, enerjiyi, yakıt girdilerini ve nakliyyeyi içerebilir. Üreticilerin, ürünlerinin geri dönüştürülüp dönüştürülmediği veya kullanım ömrü sonunda toprağa doldurulup doldurulmadığı gibi ürünleri üzerindeki veriler üzerinde kontrol sahibi olmadıkları durumlarda, varsayımlarda bulunulabilir veya tipik uygulama hakkında endüstri destekli verileri kullanabilir. Karşılaştırma birimini tanımlamak, LCA'nın amaç ve kapsam belirleme aşamasında bir başka önemli görevdir. Tüm karşılaştırma birimlerinin temeli, karşılaştırılan ürünlerin birbirinin gerçek ikameleri olabilmesi için tanımlanan işlevsel birimdir. İşlevsel birim, tüm envanter akışlarının ölçeklendirildiği kritik referans noktasını sağlar. Örneğin zemin kaplama alternatifleri için fonksiyonel birim 0,093 m² (1ft²) döşeme; 60 yıllık çalışma süresi boyunca üretimi, kurulumu, bakımı, kullanım ömrü sonu yönetimi ve değiştirmelerin tümü ölçülür ve bu tanımlanmış alanda normalleştirilir. Veri gereksinimleri, kapsam belirleme aşamasında da tanımlanır. BEES şu kapsamaları içerir:

- Coğrafi kapsam; Veriler mümkün olan her yerde Kuzey Amerika koşullarına ve teknolojisine dayanmaktadır.
- Zaman aralığı kapsamı; Ürünleri güncellerken amaç, üreticilerden veya endüstri birliklerinden en yeni ve mevcut en iyi verileri toplamaktır. İmalatçılardan ve endüstri birliklerinden alınan birincil verilerin beş yıldan daha eski olmaması hedeflenmektedir. Arka plan verilerinin 10 yıldan daha yeni olması hedeflenmektedir. Bu veri hedefleri, tipik olarak ürün kategorilerini her üç ila beş yılda bir güncelleyerek ve LCA modelleme araçlarında kullanılan en son veri tabanlarının güncel olmasını sağlayarak karşılanır. Özellikle ecoinvent (Ecoinvent, 2017) gibi veri tabanları, daha yeni ön plan ve/veya arka plan verileriyle sürekli olarak güncellenmektedir [50], [51].

- Teknoloji kapsamı; Genel ürünler için en iyiyi temsil edilebilecek teknoloji dikkate alınır. En iyiyi temsil edilebilecek teknoloji için veriler mevcut olmadığında, bu ürün için ABD ortalama teknolojisine dayalı olarak toplu bir sonuç dikkate alınır.
- Veri tabanları; Yakıtlar, enerji, ulaşım araçları ve malzemeler (varsa) için kullanılacak veriler, ortak ISO 14040 uyumlu bir araştırma protokolü kullanılarak geliştirilen ABD'nin LCI veri tabanından elde edilir. Diğer tüm malzemeler için veriler ecoinvent'ten temin edilebilir [50], [51], [52], [53].

4.2.2. Envanter Analizi

Envanter analizi, bir ürün sistemi içindeki birim süreçler için girdi ve çıktıların nicelleştirilmesini gerektirir. Birincil görevlerden biri veri toplama. Veri toplama, değerlendirme sistemini temsil eden, ayırma kriterlerini oluşturan, verileri ve veri kalitesi gereksinimleri ile diğer kapsam belirleme faktörlerini uygun şekilde ele alan verilerin toplanmasıdır. Veriler, tanımlanan her birim işlem için toplanır. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, belirli bir ürünü veya ara ürünü üretmek için toplanan girdiler arasında enerji, yakıt, net su kullanımı, yardımcı malzemeler ve ürün bileşenleri/malzemeleri bulunur. Çıktılar, havaya ve suya doğrudan emisyonları ve atık kategorilerini içerebilir [30].



Şekil 4.1. BEES envanter veri kategorileri.

LCA'lar için envanter verilerini toplamak amacı ile çok sayıda yaklaşım kullanılabilir. Bunlar Environmental Protection Agency (EPA) "Çevresel Koruma Derneği", 1993'te tanımlanmıştır [54].

- Birim işleme ve tesise özgü: Herhangi bir şekilde birleştirilmemiş belirli bir tesis içindeki bir işlemde veri toplama,
- Kompozit: Konular arasında birleştirilmiş aynı işlemde veri toplama,
- Toplu: Birden fazla işlemi birleştiren verileri toplama,
- Sektör ortalaması: Teknolojiler arasındaki tipik süreci istatistiksel olarak açıkladığına inanılan konuların temsili bir örneğinden elde edilen verileri toplama,
- Açıklayıcı: Temsili bilinmeyen ancak bir süreci nitel olarak tanımlayan verileri toplama.

ABD veya Kuzey Amerika ortalama verilerini ve sonuçlarını gerektiren genel BEES ürünleri için, genel ürün verileri öncelikle endüstri ortalamalı yaklaşım kullanılarak toplanır. Üreticiye özgü ürün verileri, öncelikle birim işlem ve tesise özgü yaklaşım kullanılarak toplanır (belirli verilerin dokümantasyonu, genellikle üretici gizliliğini korumak için bir araya getirilir). NIST'in amacı, her bir ürünle ilişkili etki ve özelliklerin mevcut en yakın tahminlerini temsil eden ürün verileri için çabalamaktır. BEES'teki bazı ürünler, ayrıntılı LCA anketleri ve/veya endüstri uzmanlarına gönderilen daha kısa anketler kullanılarak oluşturulurken, diğerleri yayınlanmış LCA raporları kullanılarak oluşturulmuştur. Çoğu durumda, ilgili birim süreçlerle ilgili herhangi bir varsayım, verilerin BEES'te uygun şekilde temsil edildiğinden emin olmak için ilgili endüstrilerdeki uzmanlar aracılığıyla doğrulanır. Günümüzde, birçok endüstri ortalaması ve şirkete özgü ürün, harici olarak doğrulanmış LCA'lara dayanan, halihazırda yayınlanmış Environmental Product Declaration (EPD)'lere sahiptir. EPD sürecinden geçmiş BEES ürünleri için, ürün verilerinin tamamı olmasa da çoğu, EPD sahibinin onayı ile EPD'lerin destekleyici LCA'larından gelir [30], [55].

4.2.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

LCA'nın etki değerlendirme adımı, LCI sonuç akışlarının bir dizi çevresel etkiye potansiyel katkısını ölçmektedir. Günümüzde çoğu LCA uygulayıcısı ve bilim insanı tarafından tercih edilen yaklaşım, iki aşamalı bir süreci içerir:

- Belirli çevresel etkilere katkıda bulunan envanter akışlarının sınıflandırılması. Örneğin, CO₂, metan ve azot oksit gibi sera gazları, GWP'ye katkıda bulunan olarak sınıflandırılır.

- Her sınıflandırılmış envanter akışının ilgili çevresel etkiye potansiyel katkısının karakterizasyonu. Bu karakterizasyon, her bir etki için bir tane olmak üzere, her sınıflandırılmış envanter akışının etkiye katkı oranına göre ağırlıklandırılmasıyla elde edilen bir dizi endekse sonuçlanır. Örneğin, GWP endeksi, her bir Greenhouse Gas (GHG)'nin eşdeğer miktarda CO₂ ısı tutma potansiyeli cinsinden ifade edilmesiyle elde edilir.

Bu Life Cycle Impact Assessment (LCIA) yaklaşımının iki genel uygulaması vardır: orta nokta düzeyinde ve son nokta düzeyinde analizler. Uç nokta düzeyinde bir analiz, envanterdeki her çevresel girdi ve çıktının neden-sonuç zinciri boyunca sahip olacağı nihai hasarı ölçmeye çalışır. Bu tür yöntemler genellikle insan sağlığına zarar, ekosistemler ve kaynak kullanılabilirliği gibi sadece birkaç etki kategorisini içerir. Daha az kategori, sonuçları yorumlamayı kolaylaştırır. Ancak bu yaklaşım, çok sayıda varsayım, değer yargıları ve altta yatan hasar modellerinin kapsamındaki boşluklar nedeniyle eleştirilmektedir. Öte yandan orta seviye bir analiz, neden-sonuç zinciri boyunca daha kesin ve kapsamlı değerlendirmelerin yapılabileceği noktaları seçer. Bu yaklaşım birçok etki kategorisi oluşturup sonuçların yorumlanmasını zorlaştırırsa da bilimsel olarak daha savunulabilir. Yine de orta seviye analizin kapsadığı çevresel etkilerin tümü aynı derecede uygunluk sunmaz. Küresel ve bölgesel etkiler için (örneğin, GWP ve asitleşme) yöntem, bilimsel kanıtlar bütünü göz önüne alındığında potansiyel etkinin daha doğru bir tanımını sağlar. Yerel koşullara bağlı etkiler için (örneğin, duman), endeksler yerelliklere göre uyarlanmadığından gerçek etkilerin aşırı basitleşmesine neden olabilir. Yerel koşullara ve Toksikite etkilerine bağlı diğer etkiler için daha da büyük belirsizlikler mevcuttur. Bu sonuç, aşağıdaki insan toksisitesi ve Ekotoksikite bölümünde tartışılmaktadır. Bazı etki değerlendirmelerinin orta nokta ve son nokta yaklaşımlarının bir karışımını uyguladığı unutulmamalıdır. BEES metodolojinde orta seviye analizi kullanılır. LCIA sonuçlarının göreceli ifadeler olduğu ve kategori sonlanma noktaları, eşiklerin aşılması, güvenlik marjları veya riskler üzerindeki etkileri tahmin etmediği vurgulanmalıdır [30].

Ürünlerin yaşam döngüsü çevresel profillerini değerlendirmek için kullanabilecek birçok LCIA yöntemi bulunmaktadır. ISO 14044 hangi metodolojinin kullanılması gerektiğini belirtmezken, birini diğerine tercih etme mantığı sağlanmalıdır [48]. BEES Online analizinde, ABD EPA'sının Kuzey Amerika koşullarına dayanan TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts) sürüm 1'i

uygulanmıştır [56]. EPA'nın TRACI 2'si BEES Online 2.0'da kullanılmaktadır. Halen Kuzey Amerika LCA çalışmaları için en çok kabul gören yöntem olarak kabul edilmektedir. Aynı zamanda, tek başına veya CML-IA (Center of Environmental Science of Leiden University- Impact Assessment Characterisation Factors) gibi daha küresel yöntemlerle birlikte birçok Kuzey Amerika EPD'si için öngörülen yöntemdir. Son olarak, TRACI'nin kapsamlı etki kategorileri sunumu, BEES için gereken geniş bir etki kategorileri kümesinin ihtiyaçlarını karşılar. Karşılaştırmalar yapılırken ISO'nun LCIA yönteminin "yeterince kapsamlı bir kategori göstergeleri seti kullanması" tavsiyesine uyulmaktadır. TRACI 2'ye ek olarak, BEES 2.0, önceki BEES sürümlerinde bulunmayan su kullanımı, arazi kullanımı, enerji ve iç hava kalitesi (IAQ) ile ilgili çevresel önlemleri eklenmiştir. BEES 2.0'daki yeni bir özellik de kullanırken herhangi bir ürün kategorisi için mevcut Product Category Rules (PCR) belgesinde belirtilen etki kategorilerini seçmesine olanak tanınmasıdır. Kuzey Amerika PCR'lerine (veya PCR'lerin Kuzey Amerika versiyonlarına) sahip EPD'ler için, TRACI-2 genellikle gereklidir, ancak Center of Environmental Science of Leiden University (CML) kategorileri küresel uygulanabilirlikte EPD için isteğe bağlı olma eğilimindedir. Çizelge 4.1'de şu anda BEES 2.0'da sunulan etki kategorileri özetlenmektedir. Bu bölümün geri kalanı, her bir ürün kategorisi için PCR'lerin gerektirdiği etki kategorileri dâhil olmak üzere bu yöntemleri ve etki kategorilerini açıklamaktadır. BEES'in bir PCR tarafından gerekli olabilecek tüm bilgileri, örneğin üründe bulunan düzenlenmiş tehlikeli maddelerin ve ürünün imalatında salınan tehlikeli maddelerin raporlanması (UL Environment, 2018-a) ile ilgili olmadığı dikkate alınmalıdır [57]. Bu tür bilgiler, PCR'da belirtilen LCIA etki kategorisi sonuçlarını sağlayan, ancak bir EPD'nin tamamen ikamesi olmayan BEES'in kapsamı dışındadır. Şu anda BEES, resmi belirsizlik analizi içermemektedir. Belirsizlik, arka plan verilerinden etki karakterizasyonuna ve normalleştirme faktörlerine kadar tüm LCA düzeylerinde mevcuttur. NIST, belirsizlik analizinin BEES'in gelecekteki sürümlerine dahil edilmesini değerlendirmektedir. BEES etki kategorileri, bunların birimleri ve kaynak metodolojisi Çizelge 4.2'de gösterilmiştir [30], [43].

Çizelge 4.2. BEES sonuç kategorileri.

BEES Sonuç Seti	Dahil Edilen Etki Kategorileri	Birim	Kaynak Metodolojisi
TRACI 2	Ozon Tüketme Potansiyeli	Kg CFC-11 eq	TRACI 2
	Küresel Isınma Potansiyeli	Kg CO ₂ eq	TRACI 2
	Duman Oluşumu Potansiyeli	Kg O ₃ eq	TRACI 2
	Asitleştirme Potansiyeli	Kg SO ₂ eq	TRACI 2
	Ötrofikasyon Potansiyeli	Kg N eq	TRACI 2
	Kanserojen Potansiyeli	CTUh	TRACI 2
	Kanserojen olmayan Potansiyeli	CTUh	TRACI 2
	Solunum Etki Potansiyeli	Kg PM _{2.5} eq	TRACI 2
	Ekolojik Toksisite Potansiyeli	CTUe	TRACI 2
	Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenebilir	MJ	CED
BEES	TRACI 2 etki setinin üstünde, artı		
	Su Kullanımı	L	ReCiPe
	Toprak kullanımı	m ²	ReCiPe
	İç Hava Kalitesi	Kg VOC	NIST
PCR'de Belirtilen Diğer Kategoriler	Abiyotik Tükenme Potansiyeli	Kg Sb eq	CML
	Küresel Isınma Potansiyeli	Kg CO ₂ eq	CML
	Ozon Tüketme Potansiyeli	Kg CFC-11 eq	CML
	Fotokimyasal Oksitlenme Potansiyeli	Kg C ₂ -H ₄ eq	CML
	Asitleştirme Potansiyeli	Kg SO ₂ eq	CML
	Ötrofikasyon Potansiyeli	Kg PO ₄ eq	CML
	Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenemez	MJ	CED
Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenebilir	MJ	CED	
	TRACI 2 için fosil yakıt tüketimi yerine birincil enerji tüketimi kullanılıyor.		

4.2.3.1. TRACI 2.1

EPA'nın Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts (TRACI) etki metodu, son teknoloji ürünü ve hakemli yaşam döngüsü etki değerlendirme yöntemlerinden oluşur ve (Çevre Koruma Ajansı, 2018) LCIA, endüstriyel ekoloji ve sürdürülebilirlik ölçümleri için karakterizasyon faktörleri sağlar [56]. Karakterizasyon faktörleri, girdilerin ve salımların ortak eşdeğerlik birimlerindeki belirli etki kategorileri üzerindeki potansiyel etkilerini nicelendirir [58]. BEES Online 2.0'da orijinal BEES Online'da uygulanan TRACI sürüm 1'e göre ek maddeler ve güncellenmiş metodolojileri (Çevre Koruma Ajansı, 2018) içerecek şekilde güncellenen TRACI sürüm 2 uygulanır. TRACI 2.1. Etki kategorileri bu bölümde özetlenmiştir [61], [62], [63], [64].

• Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)

Dünya, Güneş'ten gelen radyasyonu esas olarak yüzeyde emer. Bu enerji daha sonra atmosfer ve okyanus tarafından yeniden dağıtılır ve daha uzun dalga boylarında uzaya yeniden yayılır. Atmosferdeki sera gazları, özellikle su buharı, ayrıca CO₂, metan, kloroflorokarbonlar ve ozon, termal radyasyonun bir kısmını emer. Emilen enerji her yöne, aşağıya ve yukarıya doğru yeniden yayılır, öyle ki sonunda uzaya kaybolan radyasyon atmosferdeki daha yüksek, daha soğuk seviyelerden gelir. Sonuç, sera gazı yokluğunda yüzeyin olması gerekenden daha az ısı kaybetmesi ve olması gerekenden daha sıcak kalmasıdır. Dünya'nın etrafında bir "battaniye" gibi hareket eden bu fenomen, sera etkisi olarak bilinir. Sera etkisi doğal bir fenomendir. GWP ölçümü, insanlara atfedilebilen emisyonlar (etkide artış) ve absorpsiyonlar (etkide azalma) nedeniyle sera etkisindeki değişimi karakterize etmek için geliştirilmiştir. GWP, hem TRACI-2 hem de CML için kilogram (kg) CO₂ eşdeğeri (CO₂ veya CO₂-eşdeğeri) cinsinden bildirilir ve göreceli etki ağırlıkları veya karakterizasyon faktörleri, 100 yıllık bir zaman dilimini temsil eder. Karakterizasyon faktörleri Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nden (IPCC) alınan verilere dayanmaktadır [59]. GWP'ye ulaşmak için, farklı GHG'lerin karakterizasyon faktörleri, LCI sonuçlarındaki ilgili GHG'lerinin kütle çıktıları ile çarpılır. Diğer etki kategorileri, her bir ilgili kategori için karakterizasyon faktörleri ve sınıflandırılmış veriler kullanılarak bu şekilde hesaplanır. Çizelge 4.3, en yaygın 3 sera gazı olan Karbon Dioksit (CO₂), Metan (CH₄) ve Azot Oksit (N₂O) ile ilişkili ağırlık faktörleri kullanılarak envanter sonuçlarının toplam GWP'nin örnek bir hesaplamasını göstermektedir. Aşağıdaki her bir etki kategorisi için toplam akışların hesaplanmasında aynı yaklaşım kullanılmaktadır. GWP Elde Etmek İçin Örnek Hesaplama aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 4.3) [30], [59].

Çizelge 4.3. GWP elde etmek için örnek hesaplama.

Sera Gazları	Ağırlık Faktörü (100 Yıl)	LCI Sonucu	Hesaplanan GHG sonucu
Karbon Dioksit (CO ₂)	1	2000,0 kg	2000,0 kgCO ₂ -eq
Metan (CH ₄)	30,5	15,0 kg	457,5 kgCO ₂ -eq
Azot Oksit (N ₂ O)	265	0,05 kg	15,9 kgCO ₂ -eq
		Toplam GWP	2473,4 kgCO ₂ -eq

- Ozon İncelme Potansiyeli

Ozon tükenme potansiyeli, kloroflorokarbonları (CFC) (örneğin, Freon), halonları, karbon tetraklorürü ve triklorometanı içerebilen ürün sistemlerindeki ozon tüketen gazları karakterize eder. Ozon katmanındaki düşüş, daha zararlı kısa dalga radyasyonunun Dünya yüzeyine ulaşmasına ve potansiyel olarak insan sağlığına, bitkilere ve ekosistemlerde değişikliklere neden olmasına izin verir. Ozon incelmesi, hem TRACI-2 hem de CML için kg trikloroflorometan eşdeğeri (CFC-11-eq) cinsinden rapor edilir [30], [60].

- Duman Oluşumu Potansiyeli

Hava kirliliği, endüstriden ve ulaşımdan kaynaklanan hava emisyonlarının (örn. Nitröz oksitler, NO_x, VOC'ler) ultraviyole (UV) radyasyon varlığında reaksiyona girdiği ve ozon (O₃) CML metodolojisi tarafından fotokimyasal Oksidasyon potansiyeli olarak adlandırılan duman oluşum potansiyeli, dumanın insan sağlığını ve bitki örtüsünü olumsuz etkileme potansiyelini ölçer. Duman oluşum potansiyeli kg O₃ eşdeğeri olarak rapor edilir. CML için, kg etilen eşdeğerleri (C₂H₄-eq) cinsinden rapor edilir. CML: Center of Environmental Science of Leiden University [65].

- Solunum Etkileri Potansiyeli

Kükürt dioksit (SO₂) ve Nitröz oksitler (NO_x) dahil olmak üzere ikincil partiküllerin partikül maddeleri ve öncülleri, fosil yakıtların ve ahşabın yakılmasıyla oluşturulur. Yollardan ve malzeme işlemeden kaynaklanan toz da partikül madde oluşumuna katkıda bulunur. Havadaki partiküllerin ve tozun solunması, astım ve diğer solunum yolu hastalıkları gibi sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu etki kategorisi, kg PM 2,5 (2,5 mikrometreden küçük veya ona eşit boyuttaki partikül madde) eşdeğeri olarak rapor edilir [30].

- İnsan ve Ekolojik Toksikite

İnsan toksisitesi, insan sağlığına yönelik risk (kanserojen, kanserojen olmayanlar ve solunum etkileri) için bir gösterge sağlarken, Ekotoksikite sonuçları toprak ve su ekosistemlerine zarar verme risklerine dair bir gösterge sağlar. Toksikite için TRACI-2, CalTOX, IMPACT 2002, LCA (USES-LCA) Berkeley Trent (BETR), Endüstriyel üretimin çevresel etkisi (EDIP), Avrupa ölçeğinde toprak ve suyun zararlı maddelere maruz kalma modelinin (WATSON) ve EcoSense katkılarını da içeren Bilimsel bir fikir birliği modeli olarak geliştirilen Çevresel ve kimyasal toksisite metodolojisi Birleşmiş Milletler Çevre Programına adapte edilmiştir [63], [66],[67], [68], [69]. İnsan toksisitesi

ve Ekotoksosite etkileri için karakterizasyon faktörleri, insan toksisitesi ve Ekotoksosite (sırasıyla CTUh ve CTUe) için karşılaştırmalı toksik birimler olarak ifade edilir ve TRACI-2 için faktörler, Kuzey Amerika koşullarına göre özelleştirilmiştir. LCA çerçevesinde kullanılan Toksisite ile ilgili metodolojilerin sonuçlarının diğer metotlarla aynı seviyede güvenilirlik sağlamadığının farkında olunmalıdır. Genel olarak, daha lokalize, toksisite ile ilgili LCIA (yaşam döngüsü etki değerlendirmesi) sonuçlarının sınırlamaları aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

Mekânsal ve zamansal çözünürlükler, toplu LCA sonuçlarına yansıtılmaz. Emisyonlar bir ürün sisteminin işlevsel bir birimine normalleştirildiğinde, tüm etki sonuçları göreceli ve potansiyeldir. Toksik etkilere neden olabilecek yerel çevresel etkileri değerlendirmek için ihtiyaç duyulan zamansal ve coğrafi özellikler LCA etki sonuçlarında mevcut değildir. Bir LCA'da eşik etkileri kaybolur. LCA, bu yüklemenin çevresel bir etkiye katkıda bulunduğu varsayımıyla kütle yüklerinin doğrusal bir ekstrapolasyonuna dayanmaktadır. Bu varsayım, eşik odaklı çevresel ve toksikolojik mekanizmalara aykırıdır. Bu nedenle, kütle yüklerinin doğrusal artışı, GWP (Küresel Isınma Potansiyeli) ve asitleşme potansiyeli gibi daha küresel ve bölgesel etki kategorileri için makul bir yaklaşım olsa da, insan sağlığı ve Ekotoksosite ile ilgili etkiler için konsantrasyon ve maruz kalma verilerinin eksikliğinden dolayı uygun bir önlem değildir. İnsan sağlığı ve Ekotoksosite için daha geleneksel risk değerlendirme metodolojileri daha sonra uygulanmalıdır. Çok sayıda araştırma kuruluşunun önemli katkıları sayesinde, USEtox'taki hassasiyet seviyesi toksisite etkilerinin belirsizliğini azaltmıştır: insan sağlığı için, mevcut USEtox karakterizasyon faktörlerinin hassasiyeti 100 ve 1000 arasına denk gelmekte, tatlı su ekotoksitesini için 10 ile 100 arasındadır [69]. BEES'in bu sınırlamaları anlaşılmalıdır ve sonuç olarak toksisite sonuçlarına GWP gibi BEES'teki diğer kategorilerden daha fazla vurgu yapmak istenmeyebilir.

- Ötrofikasyon Potansiyeli

Ötrofikasyon, mineral besinlerin toprağa veya suya eklenmesidir. Her iki ortamda da, nitrojen ve fosfor gibi büyük miktarlarda mineral besinlerin eklenmesi, genellikle ekosistemlerdeki türlerin sayısında istenmeyen değişimlere ve ekolojik çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum Su'da, yosun oluşmasını artırma eğilimindedir, bu da oksijen eksikliğine ve ardından balık gibi türlerin ölümüne yol açabilir. Ötrofikasyon Potansiyeli, "TRACI-2" için kg nitrojen (N) eşdeğeri ve "CML" için fosfat (PO₄) eşdeğeri olarak ölçülür [63], [65].

- Asitleşme Potansiyeli

Asitleştirici bileşikler, gaz halinde, suda çözünebilir veya katı parçacıklar üzerinde kalabilir. Bu bileşikler, yağmurda veya ıslak ortamda çözünme yoluyla ekosistemlere ulaşır ve ağaçları, toprağı, binaları, hayvanları ve insanları etkileyebilir. Asitleştirmede temel olarak yer alan iki bileşik, temel insan kaynakları fosil yakıt ve biyokütle yanması olan sülfür ve nitrojen bileşikleridir. Hidrojen klorür ve amonyak gibi insan kaynakları tarafından salınan diğer bileşikler de asitleşmeye katkıda bulunur. Asitleşme hem TRACI-2 hem de CML için kg SO₂ eşdeğeri cinsinden ölçülür [62], [63], [65], [69].

- Birincil Enerji Tüketimi

Toplam enerji, ürün sistemi boyunca yakıt için kullanılan enerjiyi ile plastikler ve kimyasallardaki hidrokarbonlar gibi ürünlerde bulunan enerjiyi kapsar. Toplam enerji, yenilenemez ve yenilenebilir enerji olarak ifade edilebilir. Yenilenemez enerji kaynakları arasında fosil yakıtlar ve nükleer enerji bulunur. Yenilenebilir enerji örnekleri arasında hidroelektrik, rüzgâr enerjisi ve biyokütle sayılabilir. Enerji kategorisi, Kümülatif Enerji Talebi (CED) yönteminden gelir ve sonuçlar megajoule (MJ) cinsinden rapor edilir [70].

- TRACI-2' de Kaynak Tükenme Kategorisi

TRACI-2'deki Kaynak Tükenme Kategorisi, daha genel kaynak tükenme sorununu ele alan, fazla megajoule (MJ fazlası) olarak ifade edilen Fosil Yakıt Tüketimini içerir. Bu etki kategorisi BEES'e dâhil değildir. Fosil yakıt tükenmesi, kömür, doğal gaz ve petrolün çıkarılması ve kullanımının, yeryüzünde kalan ilgili rezervleriyle ilişkili olarak etkisini karakterize eder. TRACI-2'deki Fosil Yakıt Tüketimi yöntemi, TRACI'nin orijinal versiyonundan alınmıştır [71], [72].

4.2.3.2. *Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)*

"BEES yöntemi", TRACI 2.1' de tanımlanan aynı dokuz etki kategorisini ve ayrıca üç ek etki kategorisini uygular: arazi kullanımı, su kullanımı ve iç hava kalitesi (IAQ). TRACI 2.1 arazi ve su kullanımını içermediğinden, bu iki önemli kaynak tükenme etkisi diğer karakterizasyon yöntemleri kullanılarak değerlendirilir. IAQ etki kategorisi dâhil edilmiştir, çünkü bir binanın sağlıklı iç mekân koşullarını sürdürmesi, bina sakinleri için benzersiz bir öneme sahiptir. Aşağıda, ilave üç etki kategorisinin kısa açıklamaları bulunmaktadır [61], [62], [63].

- Su Kullanımı

Su kullanımı, ürün sistemindeki tatlı su tüketimi miktarı ile ölçülür ve (Representing the initials of the major collaborator institutions of RIVM and Radboud University, CML and PRé'nin), ReCiPe'deki su kullanımı kategorisi kullanılarak hesaplanır. ReCiPe başlıca katılımcı kurumların baş harflerini temsil eder [73]. ReCiPe'nin su kullanımı kategorisi, göller, nehirler, kuyular ve belirtilmemiş doğal kaynaklardan ürün sistemi boyunca kullanılan net su envanteridir. Bu kategoride hiçbir ağırlıklandırma, karakterizasyon veya bölgeselleştirme hesaba katılmaz ve sonuç olarak model belirsizliği en aza indirilir. Su kıtlığı seviyelerine ve diğer parametrelere dayalı olarak coğrafi bölgelere karakterizasyon faktörleri ve ağırlıklandırma uygulayan su ayak izi ve diğer su kullanımı metodolojileri varken, bu yaklaşımlar kullanılmamıştır. AWARE (Available Water Remaining) modeli (Boulay, 2018). BEES'teki kullanılan suyun birimi litre (L)'dir [74].

- Arazi kullanımı

Ürün sisteminin sistem sınırları içinde işgal edilen ve/veya dönüştürülen arazinin yüzey alanını hesaplayan ReCiPe'deki arazi kullanım kategorisi kullanılır. Bu akışlar, arazinin kalitesine (toprak organik maddesinin “soil organic matter” (SOM) tükenmesi) veya biyoçeşitliliğin azalması gibi daha fazla karakterize edilmeden doğrudan envanter sonuçlarından alınmıştır. Yalnızca kullanılan veya dönüştürülen arazinin kullanımına yönelik bu yaklaşım, geniş değişkenlik ve toprak, arazi, tür zenginliği vb. ile ilgili sürekli değişen faktörler denklemden çıkarıldığından kategori sonuçlarındaki belirsizliği en aza indirir. Arazi kullanımı metrekaare (m²) cinsinden ölçülür [73].

- İç Hava Kalitesi (IAQ)

İç mekân hava kalitesi etkileri, geleneksel yaşam döngüsü etki değerlendirmelerine dâhil edilmemiştir. Bununla birlikte, bina ürünlerinin iç mekân hava performansı, bina topluluğunu ilgilendirir ve herhangi bir bina ürünü LCA'da açıkça dikkate alınmalıdır. İdeal olarak, karakterizasyon faktörleri, küresel ısınma gazlarında olduğu gibi iç mekân hava kirleticileri için de mevcut olacaktır. Bununla birlikte, kirleticilerin iç mekân hava performansına nispi katkıları hakkında çok az bilimsel fikir birliği vardır. Güvenilir karakterizasyon faktörlerinin yokluğunda, ürünün kurulum ve kullanım aşamasında toplam VOC (volatile organic compound/uçucu organik bileşik) emisyonları iç mekân hava performansı için bir vekil olarak kullanılır. Bir "toplam" VOC kümesinin, ürün sistemindeki tek tek uçucu bileşiklerin katkılarını eşit derecede ağırlıklandırılır. Ayrıca,

partiküller, spesifik aerosoller ve küf gibi diğer iç mekân hava kirleticileri de mevcutsa, tek başına VOC emisyonlarına güvenmek yanıltıcı olabilir. Son olarak toplam VOC, kullanılan analitik yöntem büyük ölçüde bağlıdır ve tüm VOC aralığını ölçebilen tek bir analitik yöntem yoktur. Bu da "toplam" terimini bir şekilde yanıltıcı hale getirir. İç mekân hava kalitesi; zemin kaplamaları, iç duvar kaplamaları ve mobilya gibi potansiyel olarak ihmal edilemeyecek derecede VOC salınımına sahip olduğu belirlenen bina elemanları için değerlendirilir [75].

4.2.3.3. CML-IA

CML-IA, Hollanda Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. TRACI gibi, CML de LCA sonuçlarını orta nokta kategorilerinde gruplayan bir etki değerlendirme yöntemidir. Avrupa Birliği (AB), genel Avrupa ve küresel tabanlı normalleştirme faktörlerine sahiptir, ancak daha ileri bir ağırlıklandırma adımını sunmamaktadır. CML etki kategorisi sonuçları, mevcut PCR (Product Category Rules) belgesinin CML'yi belirttiği ürün kategorileri için mevcuttur. PCR'ler bu bölümün ilerleyen kısımlarında daha ayrıntılı olarak tartışılacaktır. TRACI-2 kategorileriyle aynı veya paralel olan CML etki kategorileri (örneğin, GWP, asitleşme potansiyeli, vb.) Yukarıdaki TRACI-2 bölümlerinde tartışılmıştır. Bazı PCR'lerin gerektirdiği CML'nin Abiotic Depletion Potential (ADP) tükenme potansiyeli aşağıda kısaca açıklanmıştır. CML tarafından geliştirilen ADP iki kategoriye ayrılır: “mineraller” (kg mineral ekstraksiyonu başına kg antimon (Sb) eşdeğeri cinsinden ölçülür) ve “fosil yakıtlar” (çıkarılan her MJ yakıt için megajoule (MJ) eşdeğerleri cinsinden ölçülür). ADP, yer kabuğundaki mineral veya yakıt içeriğine ve ürün sistemindeki girdileriyle ilişkili olarak tükenme oranına göre hesaplanır. ADP için faktörlerin kapsamı küreseldir. ADP, birçok PCR'de gerekli etki kategorisi olarak listelendiği için BEES'e dâhil edilmiştir. Bununla birlikte, TRACI-2'nin fosil yakıt tüketiminin açıklamasında belirtilen benzer nedenlerden dolayı, ADP'nin birçok sınırlaması vardır. Yönteme ve karakterizasyon faktörlerinin kendilerine erişim <http://www.cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html> adresinde sağlanmaktadır [76].

4.2.3.4. Ürün Kategorisine Göre PCR Etki Kategorileri

Tüketicilerin talebi, ürünlerin çevre dostu olduğuna dair iddiaların kanıtlanması için “Environmental Product Declaration” EPD'nin geliştirilmesine yol açmıştır. EPD, bir ürünün yaşam döngüsü ortamına etkisini LCA kullanarak belgeleyen kapsamlı bir

rapordur. EPD'ler, ürünleri derecelendirmese veya herhangi bir çevresel performans kriterini karşıladığını göstermese de EPD'ler tüketicileri bir ürünün çevresel performansı hakkında daha iyi bilgilendirebilecek bir ürün LCA değerlendirmesinin ifadesidir (UL, 2018). Aynı işleve hizmet eden ürünler, bir EPD'de rapor edilen ve PCR ile tanımlanan LCA'nın geliştirilmesi için aynı kurallara ve gerekliliklere uymak zorundadır. PCR, ürün kategorilerine göre değişiklik gösteren gerekli LCA yöntemi ve etki kategorileri dâhil olmak üzere, LCA'nın tüm yönleri için kuralları belirtir. Amaç, belirli bir ürün grubu veya kategorisi için EPD'lerde LCA sonuçlarının şeffaflığını ve tutarlılığını iyileştirme sürecini standartlaştırmaktır [77]. Sektör eğilimleriyle tutarlı kalmak için BEES Online 2.0, yalnızca belirli bir ürün kategorisi için mevcut PCR'da belirtilen LCA yöntemlerini ve etki kategorilerini analiz etme seçeneğini içerir. Bu bölümün geri kalanı, BEES Online 2,0'daki yapı ürünü kategorilerinin her biri için gereken LCA yöntemi etki kategorilerini tanımlayacaktır [30], [43].

- LCA'lar ve EPD'lerin Karşılaştırılabilirliği

Standardizasyondaki ilerleme PCR'ler yoluyla iyileşmiş olsa da bugüne kadar PCR'lerdeki gereksinimler, farklı arka plan veri tabanları ve malzemeler için veri seti kullanılabilirliği veya diğer metodolojik kuralların kullanılması nedeniyle EPD'lerdeki sonuçları doğrudan karşılaştırmayı mümkün kılmamaktadır. LCA sonuçlarının aynı yazılım paketinde aynı LCA uygulayıcısı tarafından aynı veri kaynakları, sınır koşulları ve diğer varsayımlar kullanılarak oluşturulduğu bilinmedikçe, LCA'ların karşılaştırılabilir olup olmadığı belirsizdir. BEES Online 2.0 programında, bir ürün kategorisinin PCR'sinde tanımlanan aynı etki kategorilerinde ürünün çevre performansının güvenilir bir şekilde karşılaştırmasına izin vererek, tüm bu gerekli koşulları sağlar [30], [43].

- Mevcut BEES Ürün Kategorileri

LCIA (Life Cycle Impact Assessment) sonuçları, çeşitli ürün kategorilerindeki bir dizi ürün için geliştirilmiştir. Çizelge 4.4, şu anda BEES 2.0'da yer alan ürün kategorileri için; zemin kaplamaları, iç duvar ve tavan kaplamaları (mimari kaplamalar), bölmeler (alçı levha), duvar ve tavan yalıtımı ve dış duvar kaplamaları (kaplama / kaplama) etki kategorilerini göstermektedir. Tüm ürün kategorilerinde kamuya açıklanması için kabul edilen LCA ile ilgili en yaygın beş etki kategorisi (EPD'lerde yer alan) dahil edilmiştir [30], [43]:

- Küresel ısınma potansiyeli
- Asitleşme Potansiyeli
- Duman Oluşumu/Fotokimyasal Oksidasyon Potansiyeli
- Ötrofikasyon Potansiyeli
- Ozon İncelme Potansiyeli

Ek olarak, birincil enerji tüketimi tüm PCR'ler için gereklidir. PCR'ye bağlı olarak diğer etki kategorileri gerekli olabilir veya isteğe bağlıdır. Özetle, BEES'te kullanılan etki metodolojileri, TRACI-2.1, CML, “Intergovernmental Panel on Climate Change” IPCC (GWP için) ve enerji talebinin “Cumulative Energy Demand” CED'e dayalı bir kombinasyonudur. Zemin kaplama ürünleri mevcut PCR kapsamındadır. Zemin Kaplama: Halı, Esnek-elastik malzeme, Laminant, Seramik, Ahşap Versiyon 2 [78]. Zemin kaplama yedi CML etki kategorisinin raporlanmasını belirten EPD'ler için beyan edilebilir ancak zorunlu değildir. Bunlar; GWP, Asidifikasyon Potansiyeli, Fotokimyasal Oksidasyon, Ötrofikasyon Potansiyeli, Ozon Tükenme Potansiyeli, Abiyotik Tükenme Potansiyeli, Birincil Enerji Tüketimi- Yenilenemez ve Yenilenebilir Birincil Enerji Tüketimi. TRACI etki kategorileridir. BEES'e dâhil olan iç duvar ve tavan kaplamaları, beş CML etki kategorisinin raporlanmasını belirleyen Mimari Kaplamalar için PCR kapsamındadır [79]. Bunlar; GWP, Asidifikasyon Potansiyeli, Fotokimyasal Oksidasyon, Ötrofikasyon Potansiyel ve Ozon Tüketme Potansiyeli. Ek olarak, Birincil Enerji Tüketimi- Yenilenemez ve Yenilenebilir Birincil Enerji Tüketimi gereklidir. BEES'e dâhil olan iç duvar ve tavan yalıtımı, "Yapıyla İlgili Ürünler ve Hizmetler için Ürün Kategorisi Kuralı (PCR) Rehberi-Bölüm B: Bina Kabuğu Isı Yalıtımı EPD Gereklilikleri" [80] ve "Bölüm A: Yaşam Döngüsü" kapsamındadır. Değerlendirme Hesaplama Kuralları ve Rapor Gereksinimleri” [81], yedi etki kategorisinin raporlanmasını belirlemektedir: GWP, Asidifikasyon Potansiyeli, Duman Oluşum Potansiyeli, Ötrofikasyon Potansiyeli, Ozon Tükenme Potansiyeli ve Abiyotik Tükenme Potansiyel. BEES'e dâhil olan bölmeler, Kuzey Amerika Alçı Levhaları için Ürün Kategori Kuralları kapsamındadır [82]. GWP, Asidifikasyon Potansiyeli, Duman Oluşum Potansiyeli, Ötrofikasyon Potansiyeli, Ozon Tüketme Potansiyeli ve Abiyotik Tükenme Potansiyeline ek olarak, Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenemez ve Yenilenebilir Birincil Enerji Tüketimi gereklidir. BEES'e dâhil olan dış cephe kaplamaları, “Ürün Grubu için Çevresel Ürün Beyanı (EPD), Kaplama Sistemi Ürünleri Hazırlama, Ürün Kategorisi Kuralı (PCR)”

kapsamındadır. Bunlar altı etki kategoride raporlanır: GWP, Asidifikasyon Potansiyeli, Duman Oluşum Potansiyeli, Ötrofikasyon Potansiyeli, Ozon Tüketme Potansiyeli ve Birincil Enerji-Fosil Yakıtlar. Çizelge 4.4'te mevcut ürün kategorisine göre ABD İçin PCR etki kategorileri gösterilmiştir [83].

Çizelge 4.4. Mevcut ürün kategorisine göre ABD İçin PCR etki kategorileri.

Etki Kategorisi	Ürün Kategorileri				
	Zemin Kaplamaları	Duvar / Tavan Kaplamaları	Bölümler	Duvar / Tavan Yalıtımı	Dış Duvar Kaplamaları
Küresel Isınma Potansiyeli	CML (TRACI*)	TRACI**	TRACI**	TRACI	TRACI**
Ozon Tüketme Potansiyeli	CML (TRACI*)	CML or TRACI	TRACI	TRACI	TRACI (CML*)
Ötrofikasyon Potansiyeli	CML (TRACI*)	CML or TRACI	TRACI	TRACI	TRACI (CML*)
Asitleştirme Potansiyeli	CML (TRACI*)	CML or TRACI	TRACI	TRACI	TRACI (CML*)
Duman Oluşumu /Fotokimyasal Oksitlenme Potansiyeli	CML (TRACI*)	CML or TRACI	TRACI	TRACI	TRACI (CML*)
Abiyotik Tükenme Potansiyeli	CML		CML+	CML+	TRACI (CML*)
Birincil Enerji Tüketimi				CED	CED
Birincil Enerji Tüketimi - Yenilenemez	CED	CED	CED	CED	CED
Birincil Enerji Tüketimi - Yenilenebilir	CED	CED	CED	CED	CED

*İsteğe bağlı raporlama kategorisi
**TRACI GWP, en çok yeniden gönderilen IPCC(AR5) kullanır ve isteğe bağlı veya gerekli olarak IPCC'li PCR'lerle uyumludur.
+PCR TRACI 2.1 kullanımını belirtir, ancak TRACI yöntemine dâhil olmayan ADP'yi gerektirir.
Not 1: Su, Toprak, İnsan Sağlığı ve Ekolojik Toksikite Kategorileri şu anda herhangi bir BEES ürün kategorisi ÇHC için gerekli değildir.
Not 2: TRACI Fossil Fuel Depletion impact category is replaced with Primary Energy Consumption.

4.2.4. Etki Yorumlama

Etkiler sınıflandırıldıktan ve karakterize edildikten sonra, ortaya çıkan LCIA ölçümleri orantısız birimlerle ifade edilir, örneğin: CO₂ eşdeğeri olarak GWP, SO₂ eşdeğerlerinde asitleşme, vb. Bir sonraki LCA adımında, yorum yapılabilmesi için bu ölçümler aynı ölçeğe yerleştirilir ve normalleştirme yoluyla düzeltilir [30], [43], [83].

4.2.4.1. Kategori Normalleştirme ve Toplama Metodolojisi

EPA, TRACI-2 etki değerlendirme yöntemlerine karşılık gelen “normalleştirme referansları” geliştirmiştir [84]. Veriler, BEES'te kullanılmak üzere güncellenmiş ve genişletilmiştir. Çizelge 4.5'te gösterilen bu değerler, ABD ekonomisinin her bir etki kategorisine yıllık katkılarının miktarını göstermektedir. Bu değerler ABD’de bir ürün düzeyindeki etkilerin önemini değerlendirmek için "etki ölçütü" olarak kullanılmaktadır. Normalleştirme faktörlerinin çoğuna ilişkin ayrıntılar, TRACI için en son güncellenen faktörler olan Ryberg'de (2014) bulunabilir [85]. Arazi, birincil enerji ve su kullanımı normalleştirme faktörleri sırasıyla toplam ABD kara alanı [86], 2017'deki toplam ABD birincil enerji tüketimi [87] ve 2015'teki toplam ABD tatlı su tüketimine dayanmaktadır [88]. Normalleştirme, BEES ürün düzeyinde etki değerlendirme sonuçlarının aynı birimlerde ifade edilen sabit ABD ölçeğinde normalleştirme referanslarına bölünmesiyle elde edilir. Bu etkiye yıllık ABD katkıları bağlamında değerlendirilen bir bina için bir etki kategorisi puanı verir. Her bir ürün düzeyindeki etki sonucu ilgili ürün için ABD etki düzeyi ile ifade edilir. Böylece ölçümlerin tümü aynı ölçeğe indirilerek etkiler arasında karşılaştırma yapılmasına olanak sağlanır. Tek bir ürünün çevresel etkisi, bir kategorideki toplam ABD etkisine göre küçüktür ve bu da yüzde küçük kesirler olan normalleştirilmiş değerlere yol açar. BEES Online 2.0, uygulama deneyimini iyileştirmek için bu normalleştirilmiş değerleri ABD nüfusu (~308,7 milyon) (ABD Sayımı, 2018) ile çarparak her bir etki kategorisi için kişi başına ABD emisyonlarının oranını temsil eden normalleştirilmiş bir değer oluşturur. BEES normalizasyon referansları aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.5. BEES normalizasyon referansları.

Etki Kategorisi	ABD Yıllık Toplamı	Birimler	Kaynak
Küresel Isınma	7,4E+12	Kg CO ₂ eq	Ryberg (2014)
Birincil Enerji Tüketimi - Yenilenemez	2,963E+13(9,16E+13)	KWh (MJ)	EIA (2018)
Birincil Enerji Tüketimi - Yenilenebilir	3,764E+12(1,16E+13)	KWh (MJ)	EIA (2018)
Solunum Etki Potansiyeli	7,4E+10 ⁹	Kg PM _{2.5} eq	Ryberg (2014)
Kanserojen	1,57E+04	CTU _{canc}	Ryberg (2014)
Su Kullanımı	3,883E+14(1,026E+14)	L(gal)	USGS (2018)
Ekolojik Toksisite	3,32E+12	CTU _e	Ryberg (2014)
Ötrotifikasyon	6,6E+09	Kg N eq	Ryberg (2014)
Toprak kullanımı	9,15E+12(2,26E+09)	m ² (acre)	CIA (2018)
Kanserojen olmayan	3,21E+05	CTU _{non-canc}	Ryberg (2014)
Duman Oluşumu	4,2E+11	Kg O ₃ eq	Ryberg (2014)
Asitleştirme	2,8E+10	Kg SO ₂ eq	Ryberg (2014)
Ozon Tüketme	4,9E+07	Kg CFC-11 eq	Ryberg (2014)
İç Hava Kalitesi	1,08E+10	Kg VOC	NİST (2010)
ABD Nüfusu	3,087E+8	İnsanlar	US Census (2018)
*İki alt kategorinin toplamı			
Not: Uygulanabilir olduğunda etki kategorileri için hem SI hem de IP birimleri dahil edilir.			

BEES'te LCA yorumlama adımında, bir binanın normalleştirilmiş etki puanları değerlendirilir. Orta seviye etki değerlendirmesi, on iki etki kategorisi için değerler verir ve bu düzeyde yorumlamayı zorlaştırır. Binalar arasında karşılaştırmaları mümkün kılmak için, etki kategorilerindeki puanları sentezlenebilir. BEES'te, etki puanlarının sentezi isteğe bağlıdır. Etki puanları, her etki kategorisinin genel çevresel performansa göre göreceli önemine göre ağırlıklandırılıp ardından ağırlıklı ortalama etki puanı hesaplanmasıyla sentezlenebilir. Alternatif ağırlık setleri, "Environmental Protection Agency" EPA Bilim Danışma Kurulu çalışmasına, BEES Paydaş Panelinin yapılandırılmış kararlarına, bir dizi eşit ağırlığa ve özellikle iklim değişikliği etkisine odaklanan ve insanların çeşitli yönlerine değer verdiği bir dizi yolu temsil eden bir sete dayanmaktadır. Şu anda BEES herhangi bir belirsizlik analizi rapor etmemektedir. Veri kaynağından temel akışlara, etki kategorilerinin karakterizasyonuna, kategori normalleştirme faktörlerini etkilemeye kadar LCA'nın tüm seviyelerinde belirsizlik mevcuttur. NIST, belirsizlik analizinin BEES'in gelecekteki sürümlerine dâhil edilmesini değerlendirmektedir [89], [90].

4.2.4.2. EPA Bilim Danışma Kurulu Çalışması

1990'da ve 2000'de, EPA'nın Bilim Danışma Kurulu "Science Advisory Board" SAB, EPA'nın kaynaklarını en iyi şekilde tahsis etmesine yardımcı olmak için çeşitli çevresel etkilerin göreceli önemine ilişkin listeler geliştirmiştir (ABD, EPA Bilim Danışma Kurulu, 1990, 2000). Listeleri geliştirmek için aşağıdaki kriterler kullanılmıştır:

- Etkinin mekânsal ölçeği
- Tehlikenin ciddiyeti
- Maruz kalma derecesi
- Hatalı olmanın cezası

On iki BEES etki kategorisinden on tanesi göreceli öneme sahip SAB listelerinde ele alınmıştır:

- En Yüksek Riskli Sorunlar: İklim değişikliği, arazi kullanımı
- Yüksek Riskli Problemler: Ekolojik toksisite, insan sağlığı (kanser ve kanser dışı etkiler)
- Orta Riskli Sorunlar: Ozon tabakasının incelmeye, duman, asitlenme, Ötrofikasyon ve insan sağlığı-kriterler hava kirleticiler

SAB, birincil enerji tüketimini veya su tüketimini açıkça dikkate almamıştır. BEES için, bu etkilerin, diğer göreceli önem listelerine dayalı olarak, sırasıyla nispeten orta riskli ve düşük riskli sorunlar olduğu varsayılmaktadır [75]. "En yüksek risk" gibi sözlü önem sıralamaları, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) olarak bilinen Çok Nitelikli Karar Analizi yönteminin uygulanmasına yönelik ASTM Uluslararası standart kılavuzu izlenerek sayısal önem ağırlıklarına çevrilebilir. AHP metodolojisi aşağıdaki sayısal karşılaştırma ölçeğini önermektedir [91]:

"1" İki etki hedefe eşit ölçüde katkıda bulunur (Bu durumda çevresel performans).

"3" Tecrübe ve muhakeme, bir etkiyi diğerine hafifçe tercih eder.

"5" Deneyim ve muhakeme, bir etkiyi diğerine şiddetle tercih eder.

"7" Bir etki diğerine çok güçlü bir şekilde tercih edilir, hâkimiyeti pratikte gösterilir.

“9” Bir etkiyi diğerine tercih eden kanıt, mümkün olan en yüksek düzeyde onaylamadır.

2, 4, 6 ve 8 değerleri 1, 3, 5, 7 ve 9 değerleri arasında uzlaşma gerektiğinde seçilebilir. İkili karşılaştırma olarak bilinen bir AHP aracılığıyla, her bir olası çevresel etki çiftine sayısal karşılaştırma değerleri atanır. Nispi önem ağırlıkları daha sonra ikili karşılaştırma değerleri matrisinin en büyük özdeğerinin normleştirilmiş özvektörünün hesaplanmasıyla türetilebilir. Çizelge 4.6’da sözlü önem sıralamalarına atanan etki kategorisi önem ağırlıklarının türetilmesi için ikili karşılaştırma değerleri ve Çizelge 4.7’de sırasıyla BEES etkileri için hesaplanan bilim danışma kurulu çalışmasına göre göreceli önem ağırlıkları listelenmektedir. İkili karşılaştırma değerlerinin, NIST’in geçmişine ve AHP tekniğini uygulama deneyimine dayalı olarak yinelemeli bir süreç aracılığıyla atandığına dikkat edilmelidir. Ayrıca, SAB bir grup olarak kanseri ve kanser dışı etkileri değerlendirirken, ortaya çıkan %13 ağırlık, sonraki bölümde tartışılan BEES Paydaş Panelinin göreceli kararlarına dayanarak ikisi arasında paylaştırılmıştır [91].

Çizelge 4.6. Etki kategorisi önem ağırlıklarının türetilmesi için ikili karşılaştırma değerleri.

Sözlü Önem Karşılaştırması	İkili Karşılaştırma Değeri
En yüksek- Düşük	6
En yüksek- Orta	3
En yüksek- Yüksek	1,5
Yüksek-Düşük	4
Yüksek-Orta	2
Orta-Düşük	2

Çizelge 4.7. Bilim danışma kurulu çalışmasına göre göreceli önem ağırlıkları.

Etki Kategorisi	Göreceli önem ağırlığı (%)
İklim Değişimi	18
Birincil enerji tüketimi	7
Hava kriterleri	7
Kanser	8
Su tüketimi	3
Ekolojik toksisite	12
Ötrofikasyon	5
Arazi kullanımı	18
Kanser olmayan	5
Duman oluşumu	7
Asitleştirme	5
Ozon tabakasının incilmesi	5

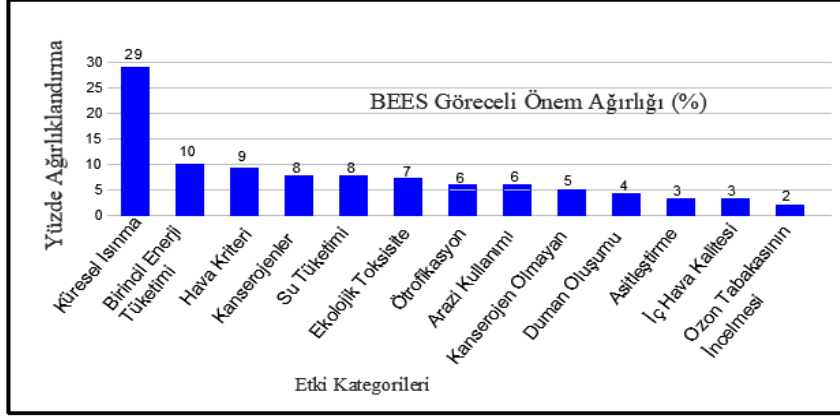
4.2.4.3. BEES Paydaş Paneli Kararları

Türetilen EPA “SAB” tabanlı ağırlık seti yardımı ile uzman rehberliği sağlanırken LCA tabanlı analizleri yorumlamak için SAB bulgularını sayısal ağırlıklara dönüştürmek için çeşitli yorum ve varsayımlar gerekmektedir. Böyle bir ağırlık seti oluşturmak için NIST, 2006 yılının mayıs ayında Gaithersburg, Maryland'deki tesislerinde bir gün boyunca bir araya gelen gönüllü bir paydaş paneli oluşturdu. Paneli toplamak için, üç "oy hakkından" birini temsil eden kişilere davetiyeler gönderildi: üreticiler (örneğin, bina ürünü üreticileri), kullanıcılar (örneğin yeşil bina tasarımcıları) ve LCA uzmanları. Panele on dokuz kişi katıldı: yedi üretici, yedi kullanıcı ve beş LCA uzmanı. Bu “oylama sonuçları”, dengeyi geliştirmek ve bir fikir birliği sürecini desteklemek için ASTM Uluslararası gönüllü standartlar geliştirme gruplarından uyarlanmıştı. BEES Paydaş Paneli, AHP firması Expert Choice Inc.'in kurucusu Dr. Ernest Forman tarafından yönetilmiştir. Dr. Forman, AHP ikili karşılaştırma sürecini kullanarak BEES etki kategorilerinin ağırlıklandırılmasında panelistlere yardımcı olmuştur. Panel; Kısa Vadeli (0 ila 10 yıl), Orta Vadeli (10 ila 100 yıl) ve Uzun Vadeli (> 100 yıl) tüm etkileri ağırlıklandırmıştır. Her etki çiftinin bir yıllık değerleri bunların çevresel performansa katkıları açısından karşılaştırılmıştır. Örneğin, Uzun Vadeli bir etki karşılaştırması için panel, cari yıla ait ABD emisyonlarının 100 yıldan daha uzun bir süreye sahip olacağını değerlendirmiştir. Panel, üç farklı zaman dilimi için ikili karşılaştırmaları yapmış ve sonuçları seçilen zaman dilimleri için sentezlenmiştir. Oylama sonuçları ve zaman dilimleri için elde edilen sonuçlar değerlendirilirken tüm panelistlere eşit önem verilmiş ve panel tarafından kısa, orta ve uzun vadeli zaman dilimlerinin ağırlıkları sırası ile %24, %31 ve %45 olarak alınmıştır. Kolaylaştırılan BEES Paydaş Paneli etkinliğinde AHP tekniğinin uygulanmasıyla geliştirilen çevresel etki önem ağırlıkları Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

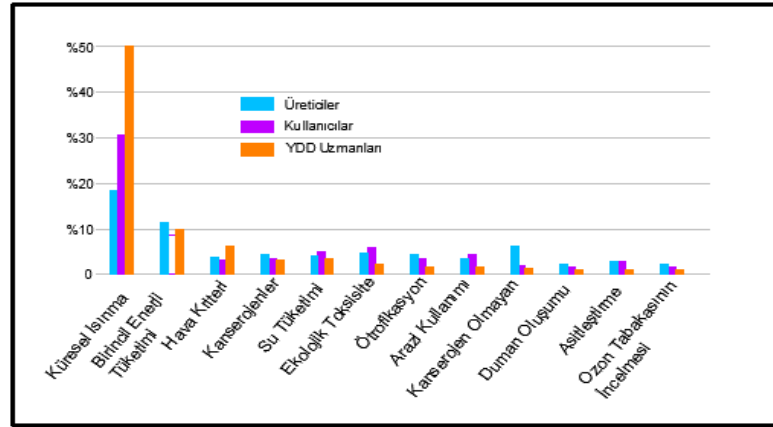
Çizelge 4.8.BEES paydaş paneli kararlarına göre göreceli önem ağırlıkları.

Etki Kategorisi	Göreceli Önem Ağırlığı (%)
İklim Değişimi (Küresel ısınma potansiyeli)	29
Birincil enerji tüketimi	10
Hava kriterleri (Solunum etkileri)	9
Kanserojen	8
Su tüketimi	8
Ekolojik toksisite	7
Ötrofikasyon	6
Arazi kullanımı	6
Kanserojen olmayan	5
Duman oluşumu	4
Asitleştirme	3
İç hava kalitesi	3
Ozon tabakasının incilmesi	2

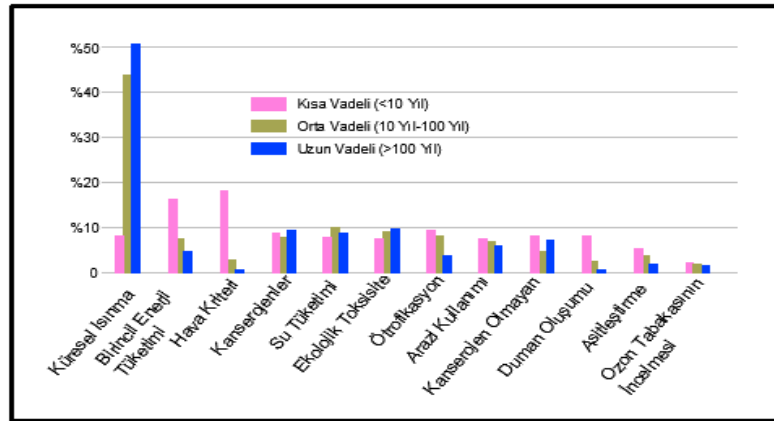
Bu ağırlıklar, paydaş oylama ve zaman dilimi kombinasyonu açısından panelistlerin bakış açılarının bir sentezini yansıtır. Ağırlık seti, her bir panelistin kişisel ve profesyonel anlayışına ve her bir etki kategorisine atfedilen değere dayanır. Sentezlenmiş ağırlık seti, her bir panelistin etkinin önemi konusundaki görüşünü eşit derecede tatmin etmeyebilir, ancak LCA'nın gerçek dünya kararlarına uygulanmasında çağdaş değerleri yansıtır. Bu sentezlenmiş BEES Paydaş Paneli ağırlık seti çevrimiçi olarak BIRDS'de bir seçenek olarak sunulmaktadır. Panelin çevresel etki önemi ağırlıklarını elde etmek için AHP sürecinin uygulanması ASTM (2011) ve ASTM (2016) ekinde belgelenmiştir [91], [92], [93]. Aşağıdaki üç şekil, BEES'te kullanılan “BEES Paydaş Paneli Ağırlıklarını” grafik olarak göstermektedir. Şekil 4.2, Sentezlenmiş ağırlık setini gösterir. Şekil 4.3, Panelistlerin oylama sonucuna özgü ağırlıkları gösterir ve Şekil 4.4, Zaman dilimlerine özgü ağırlıkları gösterir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görüntülenen ağırlık setlerinden birini kullanılarak veya bunları tanımlı ağırlık seti olarak girilerek sonuçlar yorumlanabilir.



Şekil 4.2. BEES paydaş paneli oylama sonucu zaman dilimlerine göre sentezlenen önem ağırlıkları.



Şekil 4.3. BEES paydaş paneli paydaşlara göre önem ağırlıkları.



Şekil 4.4. BEES paydaş paneli zaman dilimlerine göre önem ağırlıkları.

4.3 EKONOMİK PERFORMANS

Yapı ürünlerinin ekonomik performansını ölçmek, çevresel performansı ölçmekten daha kolaydır. Yayınlanmış ekonomik veriler kolayca elde edilebilir ve ekonomik performans değerlendirmelerini yürütmek için köklü ASTM standart yöntemleri vardır. Yapı ürünlerinin ekonomik performansını ölçmek için en uygun yöntem “Life Cycle Cost” LCC yöntemidir [94]. BEES, bina ile ilgili yatırımların yaşam döngüsü maliyetlendirmesi için ASTM standart yöntemini izler [95].

4.3.1. Çalışma Süresi

Çevresel performansı ve ekonomik performansı ölçmek için kullanılan zaman dilimleri arasında ayırım yapmak önemlidir. Bu zaman dilimleri farklıdır. Çevresel LCA'da, zaman periyodu hammadde edinimi ile başlar ve ürünün kullanım ömrü sonunda sona erer. Öte yandan ekonomik performans, ürünün satın alınması ve kurulmasıyla başlar ve gelecekte bir noktada sona eren ve ürünün sonuna denk gelmeyen sabit bir süre (çalışma dönemi olarak bilinir) üzerinden değerlendirilir. Ekonomik performans, ürün satın alma ve kurulumdan başlayarak değerlendirilir, çünkü bu maliyetlerin oluşmaya başladığı ve maliyetlere göre yatırım kararlarının alındığı zamandır. Çalışma dönemi gelecekte belirli bir tarihte sona erer. Özel bir yatırımcı için zamanın uzunluğu, ürün veya tesise sahip olma süresi ile belirlenir. Toplumsal bir bakış açısıyla, çalışma süresi uzunluğu genellikle en uzun ömürlü ürün alternatifinin yararlı ömrüne göre belirlenir. Bununla birlikte, alternatiflerin çok uzun ömürleri olduğunda (örneğin, 60 yıldan fazla), üç nedenden dolayı daha kısa bir çalışma süresi seçilebilir [95]:

- Teknolojik eskime, ürün ömrü sona ermeden önce meydana gelirse
- Gelecekteki maliyetler için veriler çok belirsiz hale geliyorsa
- Uzak gelecekteki maliyetler, şu andaki veya yakın gelecekteki maliyetlerden daha düşük öneme sahipse

BEES modelinde, ekonomik performans 60 yıllık bir çalışma süresi boyunca ölçülür. Bu çalışma dönemi, toplum için ekonomik performansın değerlendirilmesi için makul bir süreyi yansıtacak şekilde seçilmiştir. Aynı 60 yıllık süre, farklı faydalı ömürlere sahip olsalar bile tüm ürünleri değerlendirmek için kullanılır. LCC yöntemi, her bir ürünün kullanım ömrünün aynı olduğunu düşünmeye izin verir. Farklı ürünlerin farklı faydalı ömürleri olduğu gerçeğini aynı çalışma dönemi boyunca değerlendirerek açıklar.

Tutarlılık için BEES modeli, aynı 60 yıllık çalışma süresi boyunca çevresel performansın kullanım aşamasını değerlendirir. Bu 60 yıllık dönemdeki ürün değişimleri, yaşam döngüsü envanter analizinde dikkate alınır ve kullanım ömrü sonu envanter akışları, 60 yıllık çalışma döneminden daha uzun ömürlü ürünler için 60 yıla orantılıdır.

4.3.2. Yaşam Döngüsü Maliyeti

LCC yöntemi, çalışma dönemi boyunca bir ürünle ilgili tüm ilgili maliyetleri toplar. Aynı işleve yönelik alternatif ürünler, örneğin zemin kaplamaları, çalışma süresi boyunca bu işlevi yerine getirmenin en düşük maliyetli yolunun hangisi olduğunu belirlemek için LCC'lerine dayalı olarak karşılaştırılabilir. Maliyet kategorileri genellikle satın alma, kurulum, çalıştırma, bakım, onarım ve değiştirme maliyetlerini içerir. Kalıntı değer, çalışma döneminin sonunda kalan ürün değeridir ve bu nedenle negatif bir maliyet değeridir. BEES modelinde, kalıntı değer, satın alma ve kurulum maliyetinin 60 yıllık sürenin ötesinde kalan ürün ömrü boyunca orantılı olarak hesaplanmasıyla belirlenebilir. Bir ürünün toplam değeri LCC (C_{LCC}), ilk maliyetin (C_{First}) ve gelecekteki maliyetlerin (C_{Future}) toplamından kalıntı değerinin (RV) çıkartılması ile hesaplanabilir.

4.3.3. İndirim Oranı

LCC yöntemi, gelecekteki tüm maliyetleri bugünkü eşdeğerine dönüştürmek için bir iskonto oranı kullanarak paranın zaman değerini hesaplar. Gelecekteki maliyetler, iskonto oranı ile tutarlı terimlerle ifade edilmelidir ve iki yaklaşım bulunmaktadır. İlk olarak, sabit dolar maliyetleriyle gerçek bir iskonto oranı kullanılabilir. Gerçek iskonto oranları, paranın zaman değerinin genel fiyat enflasyonuna değil, paranın zaman içindeki gerçek kazanç gücüne atfedilebilen kısmını yansıtır. Gelecekteki tüm maliyetler sabit dolar cinsinden ifade edilse bile, paranın zaman-değerinin bu kısmını yansıtacak şekilde iskonto edilmelidir. İkinci olarak, bir piyasa (nominal) iskonto oranı cari dolar tutarları ile kullanılabilir (örneğin, gelecekteki fiili fiyatlar). Piyasa iskonto oranları hem enflasyondan hem de paranın zaman içindeki gerçek kazanç gücünden kaynaklanan paranın zaman değerini yansıtır. Düzgün uygulandığında, her iki yaklaşım da aynı LCC sonuçlarını verir. BEES modeli, sabit dolar ve gerçek bir iskonto oranı kullanarak LCC'yi hesaplar. BEES, "Department of Energy" DOE enerji verimliliği, su tasarrufu, yenilenebilir enerji proje değerlendirmesi ve "sosyal zaman tercihi oranı" için %3 reel oran sunar [96], [97], [98].

Lavappa ve Kneifel, iki değerden yüksek olanı için tanımlanan sürece dayalı olarak reel iskonto oranını %3 olarak belirler. Dikkate alınan ve yüksek olanı seçilen iki değer; (1) 12 aydan fazla üzerinden ortalama alınan uzun vadeli Hazine Bonosu oranları kullanılarak hesaplanan reel iskonto oranı veya (2) %3'lük öngörülen taban olarak yayınlanan genel enflasyon oranıdır [96], [99]. Hesaplanan reel iskonto oranı, son 10+ yıl için öngörülen taban olan %3'ten daha düşüktür. Ortalama tasarruf sahibinin gelecekteki tüketimi düşürmek için kullandığı oranın sosyal zaman tercihi oranının bir ölçüsü olduğunu, uzun vadeli devlet borcunun gerçek getiri oranının adil bir yaklaşım sağlayabileceğini" varsayar ve 1973 ten 2003'e kadar ortalama gerçek yıllık vadelere bağlı olarak reel indirim oranının %3 olarak belirler [98]. %3'lük indirim oranlarının ya tarihli verilere (15+ yaş) ya da mevcut ekonomik koşulları kapsamayan önceden belirlenmiş bir zemine dayandığı göz önüne alındığında, bir alternatif indirim oranı seçmek uygun olabilir. 3 yıldan 30 yıla kadar vadeli Hazine Bonoları ve Tahvillerine dayalı genel sermaye yatırımları için geçerli olan reel iskonto oranları yıllık olarak güncellenmektedir. 2018 yılı için bu oranlar 3 yıl için %-0,5 ile 30 yıl için %0,7 arasında değişmektedir [96]. Enflasyon muhasebeleştirildikten sonra, gerçek iskonto oranları çalışma dönemine bağlı olarak %0,0'a yakın veya altında olabilir. Diğer bir alternatif, %7,0 olarak tahmin edilen "ABD ekonomisinde vergi öncesi tarihi ortalama özel sermayeye getiri oranı" dır [98]. Bu değer, hisse senedi piyasasından %6,5'lik gerçek getiriler "Siegel's Constant" olarak adlandırılan değeri ile tutarlıdır [100]. Nesiller arası etkileri içeren daha uzun vadeli karar verme durumunda daha düşük bir iskonto oranı önermektedir. Bu durumda "ajans, %3 ve %7'lik iskonto oranlarını kullanarak net faydaların hesaplanmasına ek olarak %1 ile %3 arasında değişen daha düşük ancak pozitif bir iskonto oranı kullanarak bir duyarlılık analizi düşünebilir [97]. Şimdiye kadar yaklaşımlar finansal piyasalara (yani hisse senetleri ve tahviller) odaklanmıştır. İskonto oranını tahmin etmenin diğer bir yaklaşımı, Ramsey Kuralı'nı kullanarak zaman tercihi, risk/eşitsizlikten kaçınma ve beklenen büyüme oranını kullanarak zımni bir sosyal iskonto oranı geliştirmektir. Bu yaklaşımı kullanan literatür, çalışmaya bağlı olarak %1,4 ile %6,0 arasında değişen uzun vadeli sosyal iskonto oranı tahminlerine sahiptir [101].

Yukarıda tartışılan toplu ortalama iskonto oranları-%0,5 ile %7,0 arasındadır. Ancak bu oranların dışında, tahmin edilen veya öngörülen sosyal veya ekonomi genelindeki indirim oranlarından farklı bir gerçek indirim oranı seçilebilir. Çünkü kişisel tercihler kişiden kişiye önemli ölçüde değişebilir. Araştırmalar, bazı gerçek kişisel indirim oranlarının %0

ile %30 arasında değişebileceğini ve birçoğu, belirli demografik özelliklere, değiş tokuş değerlerinin büyüklüğüne ve çalışmadaki konu ve yaklaşıma bağlı olarak %7,0'dan daha yüksek ortalama kişisel indirim oranları bulduğunu göstermiştir. Bu nedenle, BEES kullanılırken analizin amacının göz önünde bulundurması ve uygun bir iskonto oranı seçmesi önemlidir [102], [103], [104], [105], [106].

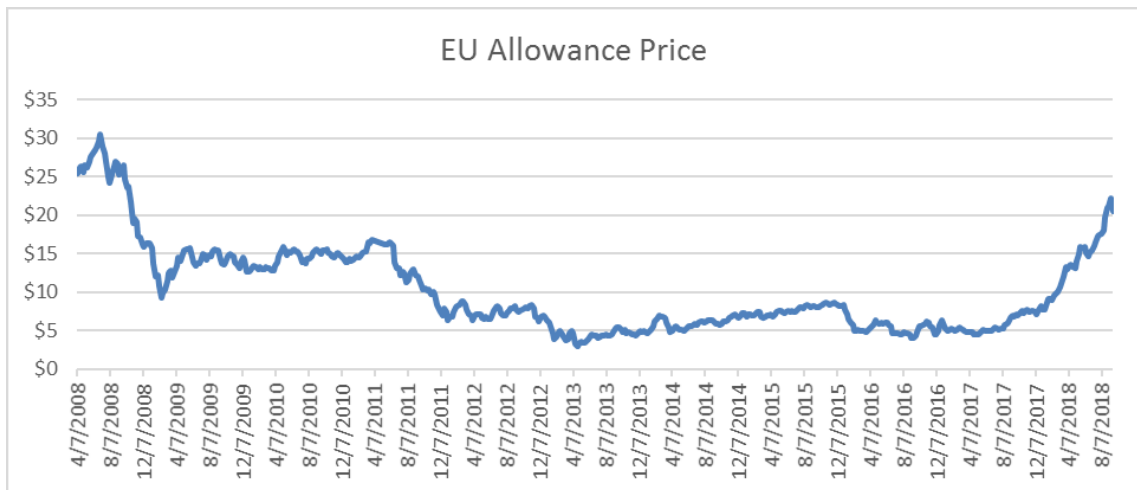
4.3.4. Karbon Maliyeti

Ekonomik analize isteğe bağlı bir ekleme, CO₂e' deki ("karbon" olarak anılan) "Greenhouse Gas" GHG emisyonlarının maliyetinin BEES LCC'ye dâhil edilmesidir. Bir yaşam döngü değerlendirmesinin LCC'sine bir karbon maliyeti eklenmek istenirse, BEES, sonuçlarının topluma verilen zararların marjinal değerini veya "karbonun sosyal maliyetini" (SCC) özelleştirme yeteneği sağlar. BEES, emisyonların ürünün kendisinde mi yoksa kullanım aşamasında mı yer aldığına bakılmaksızın şu anda GWP etki kategorisi (CO₂e emisyonları) tarafından ölçülen tüm GHG emisyonları için sabit bir fiyat kullanmaktadır. Ancak, "Social Cost of Carbon" SCC'nin zamanla yükseleceği tahmin edilmektedir. BEES'in gelecekteki sürümleri zamanla değişen fiyatlar sunabilir. Bununla birlikte, BEES, Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti Sera Gazlarının Sosyal Maliyeti Üzerine Kurumlar Arası Çalışma Grubunda yayınlanan 2010 yılı için en muhafazakâr ortalama SCC tahminine dayanan 12 \$/ton'luk bir varsayılan değer sağlamaktadır [107]. BEES'de varsayılan değeri kullanılabilir veya istenilen değer seçilebilir. İkincisi durumunda, bu bölümün geri kalanında çok sayıda kaynak tartışılmaktadır. Karbonun Sosyal Maliyeti Çalışma Grubu (2016), farklı iskonto oranları varsayılarak SCC tahminlerinin (2007 ABD doları) dağılımlarını sağlar: %5, %3 ve %2,5. Çizelge 4.9, Tüketici Fiyat Endeksi (CPI) faktörü = 1,2161 ile çarpılarak 2018 dolarına ayarlanmış 5 yıllık artışlarla her bir iskonto oranı için ortalama SCC değerlerini göstermektedir [108]. Dördüncü bir değer, %3 iskonto oranı durumu için %95'lik değer, yüksek SCC senaryosuna bir örnektir. Tahmin dağılımları, uzun sağ kuyruklu sola eğimli bir dağılıma sahiptir. Bu dağılımlar hakkında daha ayrıntılı bilgi için Karbonun Sosyal Maliyeti Çalışma Grubu'na (2016) bakılabilir [107].

Çizelge 4.9. Karbon tahminlerinin sosyal maliyeti.

SCC Başına Metrik Ton (2018 ABD Doları)				
Yıl	Ortalama Fiyat			95%
	5%	3%	2,5%	3%
2010	\$12	\$38	\$61	\$105
2015	\$13	\$44	\$68	\$128
2020	\$15	\$51	\$75	\$150
2025	\$17	\$56	\$83	\$168
2030	\$19	\$61	\$89	\$185
2035	\$22	\$67	\$95	\$204
2040	\$26	\$79	\$102	\$223
2045	\$28	\$78	\$108	\$240
2050	\$32	\$84	\$116	\$258
TÜFE Enflasyon Faktörü (2007-2018) =1,2161				

Sera gazları küresel kirleticilerdir ve bu nedenle sera gazı azaltımlarından kaynaklanan hasarlarda marjinal azalma dünya çapında karşılaştırılabilir. ABD'deki ve dünyadaki Emisyon Ticaret Sistemlerindeki “Emissions Trading Systems” (ETS) mevcut CO₂ piyasa fiyatları, SCC'yi tahmin etmek için faydalı veriler olabilir. ABD'de, oluşturulan ilk karbon piyasası, Kuzeydoğu'daki Bölgesel Sera Gazı Girişimi (RGGI) idi ve ihale fiyatları 2017 ve 2018'de ~ 2,50 \$/ton ile ~ 5,00 \$/ton arasında değişiyordu (RGGI, 2018). Diğer karbon piyasası, 2018'de takas ihale fiyatlarının 14,61 \$ / ton ile 15,05 \$ / ton arasında değiştiği Kaliforniya Sınır ve Ticaret Programı'dır (CARB, 2018). Dünyadaki en iyi bilinen karbon pazarı AB ETS'dir. 2018 üzerinden Eylül ayında ~ 20 \$ / tona yükselene kadar, AB ödeneği (EUA) fiyatlarının tarihsel olarak 10 \$ / tonun altında kaldığını Şekil 4.5'de göstermektedir [109].



Şekil 4.5. AB emisyon ticaret sistemleri GHG ödenek fiyatı (Nisan 2008-Eylül 2018).

Dünya çapında, karbon vergisi veya karbon ETS'si olan 42 ulusal yargı bölgesi (yani ülkeler) ve 25 alt ulusal yargı alanı (yani eyaletler, iller veya şehirler) vardır [110]. 2016 yılı itibariyle bu ETS'lerdeki fiyatlar dünya genelinde 13 \$/ton ile 31 \$/ton arasında değişmektedir [111]. Daha güncel veriler Dünya Bankası Grubu'nda 2018 ABD doları olarak yayınlandı [112]. Kanada'da karbon ETS fiyatları eyalete bağlı olarak 15 \$/ton ile 23 \$/ton arasında değişmektedir. Pek çok Avrupa ülkesi, AB ETS'ye katılımlarının yanı sıra, 8 \$/ton (Portekiz) ile 139 \$/ton (İsveç) arasında değişen karbon vergilerine sahiptir. Japonya'da 3 \$/ton karbon vergisi varken Tokyo'nun ETS karbon fiyatı 6 \$/ton. Kore'nin ETS karbon fiyatı 21 \$/ton. Çin, mevcut karbon fiyatları 2 \$/ton ila 9 \$/ton arasında değişen, şehir düzeyin de pilot ETS uygulanmıştır. Birçok özel şirket, kendi SCC tahminleriyle veya buldukları yere uygulanan karbon piyasasındaki piyasa fiyatlarına dayalı olarak karbon fiyatlandırmasını iş stratejilerine dâhil etmeye başlamıştır [111]. Şirketler tarafından kullanılan tahminler, ülkeler arasında ve içinde önemli ölçüde farklılık gösterir. Örneğin, ABD şirketleri 1 \$/ton ile 150 \$/ton arasında değişen karbon fiyatlarını açıkladılar. Bu fiyat farklılıkları, diğer şeylerin yanı sıra, regülasyonun bir firmanın piyasa sektörüyle karşılaşma olasılığından ve kısa vadeli ve uzun vadeli perspektiflerindeki farklılıklardan kaynaklanır. Özetle, BEES'de uygun bir SCC seçimi, tercihlere bağlıdır ve bu, 0 \$/ton ila 150 \$ + /ton arasında herhangi bir yerde fiyatlara yol açabilir [111].

4.3.5. Geçerli Maliyet Veri Kaynakları

Maliyet verileri çeşitli veri kaynaklarından toplanır. Belirli ürün grupları için, kamuya açık önerilen perakende fiyatı ürünün maliyeti için varsayılır. Genel veya endüstri ortalama ürün maliyeti verileri için, RS Means ve Whitestone maliyet veri tabanları veya endüstri grubu tarafından önerilen fiyatlar kullanılmaktadır. Her bir ürünün kurulum maliyetini tahmin etmek için aynı veri tabanları kullanılmaktadır. Değiştirme maliyetlerinin ürünün kurulum maliyeti (ürün artı kurulum maliyeti) ile aynı olduğu varsayılmaktadır. Gerçekçi maliyet tahminleri sağlamak için bu veri kaynaklarını desteklemek için sektörel görüşmeler kullanılmıştır. Kullanım aşaması sırasında bakım için herhangi bir maliyet veya hizmet ömrü sonunda ürünün çıkarılması maliyeti dahil edilmemektedir. BEES kurulum maliyet değerlerinin özel maliyet bilgilerine göre ayarlaması önerilmektedir.

4.4. BEES ÜRÜN ÖZETİ

Bu bölüm, BEES'te uygulanan “Uniformat-II” ürün kategorisi biçimlendirmesine ve BEES'in mevcut sürümünde bulunan mevcut ve gelecekteki ürün kategorilerine genel bir bakış sunar.

4.4.1. UNIFORMAT II Sınıflandırması

Tüm BEES ürün kategorileri, ASTM Standardı E1557'de (ASTM, 2015-e) tanımlanan bina ile ilgili unsurlar için standart bir sınıflandırma olan UNIFORMAT-II kullanılarak tanımlanır. Ayrı yapı elemanları Çizelge 4.10'da gösterildiği gibi "gruplar" ve "ana gruplar" olarak toplanmıştır [49].

Çizelge 4.10. UNIFORMAT öğeleri.

UNIFORMAT Öğeler	
Ana grup Elemanı	Grup Elemanı
Altyapı	Temeller
	Bodrum Yapısı
Dış Kaplama	Üst Yapı
	Dış Muhafaza
	Çatı Kaplaması
İç Mekanlar	İç Yapı
	Merdivenler
	İç Kaplamalar
Hizmetler	Taşıma
	Sıhhi Tesisat
	İklimlendirme
	Yangın Koruması
Ekipman&Mobilyalar	Elektriksel
	Ekipman
Özel İnşaat&Yıkım	Mobilyalar
	Özel İnşaat
Şantiye İnşa Etmek	Seçici Bina Yıkımı
	Site Hazırlığı
	Site İyileştirme
	Site Mekanik
	Yardımcı Araçları
	Site Elektrik Hizmetleri
Diğer Site Yapımı	

4.4.2. BEES Ürün Kategorileri

Çizelge 4.10, BEES Online 2.0'da yer alan unsurlara, BEES Online 2.1'e eklenmesi planlanan unsurlara ve henüz güncellenmemiş unsurlara göre sıralanan bireysel eleman, grup elemanı ve ana elemana göre BEES ürün kategorilerini göstermektedir. BEES Online'ın orijinal versiyonu belirli bir ürün için uygun münferit unsurun tanımlanmasında bir miktar inisiyatif kullanılabilir (örneğin, tüm borular ve bağlantı parçaları bu belge için tek bir unsurda gruplandırılmıştır). BEES ürün kategorileri aşağıda gösterilmiştir [30], [43], [49] (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. UNIFORMAT elemanına göre BEES ürün kategorileri.

TEK BİÇİMLİ Öğeler				
	Ana grup Elemanı	Grup Elemanı	Kişisel Eleman	Veri Yılı
BEES Online 2.0 (7 Ürün)	İç Mekanlar	İç Kaplamalar	Zemin Kaplaması	2016
	İç Mekanlar	İç Kaplamalar	İç Duvarlara Duvar Kaplamaları	2018
	İç Mekanlar	İç Kaplamalar	Tavan Kaplamaları	2018
	İç Mekanlar	İç Yapı	Alçıpan bölmeler	2018
	Dış Kaplama	Dış Muhafaza	Duvar Yalıtımı	2018
	Dış Kaplama	Çatı Kaplama	Tavan Yalıtımı	2018
	Dış Kaplama	Çatı Kaplama	Çatı Kaplamaları	2018
BEES Online 2.1 (300+ Geliştirme Aşamasındaki Ürünler)	Dış Kaplama	Çatı Kaplama	Çatı Kaplamaları	2019
	Dış Kaplama	Dış Muhafaza	Duvar Kaplaması	2019
	Dış Kaplama	Üst Yapı	Kirişler	2019
	Dış Kaplama	Üst Yapı	Kolonlar	2019
	Dış Kaplama	Üst Yapı	Çatı Kaplaması	2019
	Şantiye Çalışması	Site İyileştirmeleri	Park Yeri Döşemesi	2019
	Alt Yapı	Temeller	Dereceli levha	2019
Alt Yapı	Bodrum İnşaatı	Bodrum Duvarları	2019	

Çizelge 4.11. (Devam) elemanına göre BEES ürün kategorileri.

TEK BİÇİMLİ Ögeler				
	Ana grup Elemanı	Grup Elemanı	Kişisel Eleman	Veri Yılı
BEES de Online Kalma (Kategoriler Bir Binaya Kurulmamış ve/veya birkaç ürünü var)	Ekipman&Mobilyalar	Mobilyalar	Sandalyeler	N/A
	Ekipman&Mobilyalar	Mobilyalar	Sabit Servis Talebi	N/A
	Ekipman&Mobilyalar	Mobilyalar	Masa Üstleri, Tezgâh Üstleri, Raflar	N/A
	Evsel Su Dağıtımı	Sıcak&Soğuk Su Dağıtımı	Borular ve Bağlantı Parçaları	N/A
	Bina Onarımı ve Tadilatı	Tadilat ürünü	Yapıştırıcı veya Mastik Sökücü	N/A
	Şantiye Çalışması	Site Elektrik Araçları	Transformatör Yağı	N/A
	Şantiye Çalışması	Site İyileştirmeleri	Gübre	N/A
	Şantiye Çalışması	Site İyileştirmeleri	Site Geliştirme (Çitler&Kapılar)	N/A
	Şantiye Çalışması	Site İyileştirmeleri	Site Geliştirme (Korkuluklar)	N/A
	Şantiye Çalışması	Site İyileştirmeleri	Karayolu toz kontrolü	N/A
	Bina Bakımı	Temizlik Ürünü	Halı Temizleyicileri	N/A
	Bina Bakımı	Temizlik Ürünü	Zemin Temizleyici	N/A
	Bina Bakımı	Temizlik Ürünü	Banyo ve Fayans Temizleyici	N/A
	Bina Bakımı	Temizlik Ürünü	Cam Temizleyici	N/A
	Bina Bakımı	Temizlik Ürünü	Yağ ve grafiti sökücü	N/A
	Hizmetler	Sihhi Tesisat	Sihhi Tesisat Armatürleri	N/A
	İç Mekanlar	İç Yapı	Dolaplar	N/A
	İç Mekanlar	Bağlantı Parçaları	Fabrikasyon Tuvalet Parçaları	N/A
	Sihhi Atık	Tahliye/Atık/Havalandırma	Boru	N/A
	Dış Kaplama	Çatı Kaplama	Çatı Kaplama	N/A
Dış Kaplama	Dış Muhafaza	Dış Sızdırmazlık ve Kaplama	N/A	
Dış Kaplama	Dış Muhafaza	Çerçevelemek	N/A	
Dış Kaplama	Dış Muhafaza	Kırpmak	N/A	

*Bireysel Ögelerde Güncellemeler Yapılmıştır ve BEES Online 1.0 Kategorileriyle Tam Olarak Eşleşmeyebilir.

Her ürün kategorisi için işlevsel birim ve kullanım aşaması seçenekleri (uygunsa) Çizelge 4.12'de gösterilmektedir. Eski ürün kategorilerinin işlevsel biriminin, uygun görülmesi halinde orijinal BEES Online kategorilerine göre BEES Online 2.0'da değiştirilebilir [30], [43], [49].

Çizelge 4.12. BEES ürün kategorisi fonksiyonel birim ve kullanım aşaması seçenekleri.

Model	Ürün Kategorisi	İşlevsel Birim	Aşama Seçeneklerini Kullan
BEES Online 2.0	Zemin Kaplaması	0,093m ² (1ft ²)	Vakumlu Süpürge/ Kuru Paspas
	Alçıpan	0,093m ² (1ft ²)	Yok
	Duvar&Tavan İzolasyonu	R-1 Başına 0,093m ² (1ft ²)	Yok
	İç Duvar ve Tavan Kaplamaları	Sızdırmazlık/Kaplama0,093m ² (1ft ²)	Yok
BEES Online 2.1	Çatı Kaplama	9,29m ² (100ft ²)	Yok
	Kirişler/Kolonlar	0,76m ³ (1yd ³)	Yok
	Bodrum Duvarları/Döşemeleri	0,76m ³ (1yd ³)	Yok
	Otopark Kaldırımı	0,76m ³ (1yd ³)	Yok
	Çatı/Duvar Kaplama	0,093m ² (1ft ²)	Yok
BEES Online İçinde Kalan	Sandalyeler	1 chair	Yok
	Sabit Servis Talebi	0,093m ² (1ft ²)	Yok
	Masa Tablaları, Tezgahlar, Raflar	0,093m ² (1ft ²)	Yok
	Borular/Bağlantı Parçaları	305m(1000ft)	Yok
	Yapıştırıcı/Mastik Sökücü	9,29m ² (100ft ²) Mastik/Yapıştırıcının Çıkarılması	Yok
	Transformatör Yağı	Bir Transformatör İçin Soğutma 1000kV	Yok
	Gübre	0,40 ha (1acre)	Yok
	Site Geliştirme (Çitler&Kapılar)	0,3 (1ft)	Yok
	Site Geliştirme (Korkuluklar)	0,3(1ft)	Yok
	Karayolu toz kontrolü	Yüzey Alanı 92,9m ² (100ft ²)	Yok
	Halı Temizleyicileri	Temizlik 92,9m ² (100ft ²)	Yok
	Zemin Temizleyici	92,9m ² (100ft ²)'den 3 kat balmumu/1 Kat dolgu Macunu çıkarın	Yok
	Banyo ve Fayans Temizleyici	3,8 lt (1gal)'nin temizliği	Yok
	Cam Temizleyici	3,785m ³ (1000gal) cam temizliği	Yok
	Yağ ve Grafiti Sökücü	3,81(1gal) Yağ ve Grafiti Sökücü	Yok
	Sıhhi Tesisat Armatürleri	1 Tuvalet	Yok
	Dolaplar	0,093m ² (1ft ²)	Yok
	Fabrikasyon Tuvalet Parçaları	0,093m ² (1ft ²)	Yok
	Boru	305m (1000ft)	Yok
	Çatı Kaplama	0,093m ² (1ft ²)	Yok
Dış Sızdırmazlık ve Kaplama	Sızdırmazlık/Kaplama 9,29m ² (100ft ²)	Yok	
Çerçevelemek	0,093m ² (1ft ²)	Yok	
Kırpmak	1 ft	Yok	

5. KONUTLARDA DIŞ DUVAR MODELLERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Konutlarda duvarlar yapıő amaçlarına göre taşıyıcı olmayan “Bölme Duvarlar” ve “Taşıyıcı Duvarlar” olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Taşıyıcı olmayan Bölme Duvarlar, yapının dış hava koşullarına maruz kalmayan iç hacimlerinde kullanılan yapı elemanlarıdır. Bölme duvarlar, yük taşımayan çoğunlukla mahalleri oluşturmak için taşıyıcı elemanlar arasındaki boşlukları kapatmak amacı ile kullanılan, hızlı, uygulaması kolay, gerekli yalıtım özelliklerine sahip, estetik, montajı ve sökümü kolay, demonte özelliklerine sahip olabilen tuğla, bims&briket, gaz beton, alçı panel, lifli beton paneller, panel duvar, sandviç panel vb. gibi çok çeşitli malzemeler ile yapılabilen duvarlardır. Konutlarda taşıyıcı olmayan dış duvarlar ise dış hava koşullarına maruz kaldığı ve uzun süre servis ömrü olmasının beklenmesi nedeni ile bölme duvarlara nazaran daha dayanıklı malzemelerden yapılması gereken, binanın dış cephesini kar, yağmur, rüzgâr, fırtına vb. korumak amacı ile yapılan duvarlardır. Dış duvarlar özellikle yığma binalarda taşıyıcı duvar olarak yapılmakta iken betonarme, çelik, kompozit taşıyıcısı olan yapılarda ise taşıyıcı olmayan duvar olarak kullanılmaktadır. Bu duvarların yapımında geleneksel olarak tuğla olmak üzere, gaz beton, bims&briket, beton-betonarme, beton paneller, kompozit dış duvar panelleri, dış cephe kaplama malzemeleri gibi birçok malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemelerin tercih edilmesinde; yapının kullanım amacı, estetik özellikleri, servis ömrü, ekonomik olup olmaması, coğrafi ve bölgesel farklılıklar, iklim özellikleri, işçilik gereksinimleri gibi çok farklı unsurlar sayılabilir. Ülkemizde dış duvar malzemesi olarak bu malzemelerden özellikle tuğla başta olmak üzere gaz beton, bims&briket, beton-betonarme duvarlar, beton paneller, kompozit dış cephe panelleri, kompozit dış cephe kaplama malzemeleri vb. kullanılmaktadır. Bu çalışmada, toplu konut inşaatlarında dış duvar malzemesi olarak kullanılan tuğla başta olmak üzere, beton duvarlar, gaz beton duvarlar, bims&briket duvarlar olmak üzere 4 farklı duvar modelinin yaşam döngü analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Bu analizlerde öncelikle mevcut dış duvar kesitinin “TS825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardına uygunlukları incelenmiş ve mevcut dış duvar kesitinin TS825’e uygunluğu değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, dış duvar kesitinin Düzce ili için TS825’te tanımlanan ısı geçirgenlik direnci $U=0,6$ değerini sağlayıp sağlamadığı hesaplarla belirlenmiştir. Yapılan hesaplarda mevcut duvar kesitinin TS825 ısı geçirgenlik direnci şartını

sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle mevcut dış duvarın hem ısı geçirgenlik direncini sağlamayan mevcut durum için, hem de $U=0,6$ olacak şekilde TS825 şartını sağlayacak durum için hesaplanarak dış duvarın izolasyon tabakası kalınlığı belirlenmiştir

5.1. KALICI KONUTLARDA MEVCUT DIŞ DUVARIN İNCELENMESİ

Düzce İlinde 17 Ağustos 1999 Depremlerinden sonra Depremzedelerin barınma ihtiyaçlarının karşılanması amacı ile yapılan Betonarme binaların genel özellikleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir. Bu binaların dış duvar kesitlerinde yer alan malzemelerin poz numaraları, isimleri, kalınlıkları ve ısı iletim katsayıları da Çizelge 2.2' de verilmiştir. Dış duvarı oluşturan malzemelerin fiziksel, kimyasal, mekanik vb. özellikleri ve standart şartları her bir malzeme için ayrı ayrı incelenerek alt başlıklar halinde sunulmuştur.

5.1.1. Dış Sıva (15.275.1101)

Dış sıva, Eski Poz Numarası Y.27.501/01 iken yeni Poz Numarası 15.275.1101 olup tanımı 250/350 kg çimento dozlu kaba ve ince harçla sıva yapılması (dış cephe sıvası) olup ve birim m^2 'dir. Tanımı; 1 m^3 dişli kuma 250 kg çimento katılması ile hazırlanan harçla ortalama 2 cm kalınlığında kaba sıva yapılması, üzerine 1 m^3 mil kumuna 350 kg çimento ilavesiyle hazırlanan harçla ortalama 0,8 cm kalınlığında ince sıva yapılması, duvar yüzeyinin temizlenmesi, gerekli zamanlarda sulanması, her türlü malzeme ve zayıfatı, işçilik, çalışma sehpaları, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m^2 fiyatı olarak tanımlanan imalatta "sıvanan bütün yüzeyler" projesi üzerinden hesaplanır. 27.501 poz numaralı imalatın Çevre ve Şehircilik Bakanlığının birim fiyat tarif ve analizine göre birim fiyat tarif ve analizi Çizelge 5.1'de verilmiştir [113], [117].

Çizelge 5.1. Dış sıva (27.501) birim fiyat tarif ve analizi.

15.275.1101 (Y.27.501/01) Pozu Analizi			
Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı
	Malzeme		
10.004(Y1)	250 kg çimento dozlu harç yapılması (kâgir inşaat)	m^3	0,023
10.008(Y)	350 kg çimento dozlu ince harç yapılması (kâgir inşaat)	m^3	0,01
04.031	Su	m^3	0,01
	İşçilik		
01.012	Sıvacı ustası	sa	1
01.212	Sıvacı usta yardımcısı	sa	0,4
01.501	Düz işçi (inşaat işçisi)	sa	0,4
01.501	Düz işçi (inşaat işçisi)	sa	0,25

5.1.2. Extrude Polistiren Köpük (Epf)+Yapıştırıcı Harç (15.335.1001)

Eski Poz Numarası Y.19.055/001 iken Yeni Poz Numarası 15.335.1001 olan Ekstrüde Polistiren Köpük, “TS-EN 13164+A1 Isı Yalıtım Mamulleri-Binalar İçin Ekstrüde Polistiren Köpük Fabrikasyon Mamuller-Özellikler” standardında ve Yapıştırıcı Harçta “TS 13566” standardı ile tanımlanmıştır. İmalat, mantolama yapmaya hazır hale getirilmiş dış duvarlarda 3 cm kalınlıkta, ekstrüde polistiren köpük ısı yalıtım levhalarının m²'ye 4 kg sarf olacak şekilde ısı yalıtım levha yapıştırıcısı ile duvara yapıştırıldıktan sonra plastik çivili ısı yalıtım dübeli ile yüzeye tespiti, levha üzerine m²'ye 3 kg sarf olacak şekilde 1. kat ısı yalıtım sıvasının yapılması, üzerine ek yerleri birbiri üzerine en az 10 cm bindirilecek şekilde sıva filesinin yerleştirilmesi ve üzerine m²'ye 2 kg sarf olacak şekilde 2. kat ısı yalıtım sıvasının yapılması, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zaiyatı, işçilik araç ve gereç giderleri, yüklenici genel giderleri ve kârı dâhil 1 m² fiyatı olarak tarif edilmektedir. 15.335.1001 poz numaralı imalatın Çevre ve Şehircilik Bakanlığının birim fiyat tarif ve analizine göre birim fiyat tarif ve analizi Çizelge 5.2’de verilmiştir [114], [117].

Çizelge 5.2. Extrude polistiren köpük (Epf) + yapıştırıcı Harç (15.335.1001) birim fiyat tarif ve analizi.

15.335.1001 (Y.19.055/001) Pozu Analizi			
Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı
	Malzeme		
04.480	Isı yalıtım levhaları yapıştırıcısı (çimento esaslı polimer katkılı)	kg	4
04.612/4C1B	Ekstrüde polistiren köpük (yüzeyi pürüzlü) 200 kPa basınç dayanımlı (2 kg/ cm ²), 0,030<ısı iletkenlik değeri<=0,035 W/mK (Zaiyat Dahil)	m ³	0,0315
04.274/2B1	Plastik çivili ısı yalıtım dübeli (9-15 cm)	AD	6
04.479	Sıva filesi (145 ile 160 g/ m ² alkaliye dayanımlı)	m ²	1,1
04.481	Isı yalıtım sıvası (Çimento esaslı polimer katkılı, elastik)	kg	5
04.031	Su	m ³	0,0025
	İşçilik		
01.010	Yalıtımcı ustası	sa	1,2
01.210	Yalıtımcı usta yardımcısı	sa	0,6
01.501	Düz işçi (inşaat işçisi)	sa	0,6

5.1.3. Düşey Delikli Hafif Tuğla Duvar (240x240x235) (18.031/7)

Eski Poz Numarası 18.031/7 iken Yeni Poz Numarası 18.031/7/MK olan Düşey Delikli Hafif Tuğla (24x24x23,5cm) ile 200 Doz Çimento Harçlı Duvar Yapılması (W Sınıfı 800 kg/m³), imalatı (24x24x23,5cm) ebadında düşey delikli hafif tuğlanın ve 0,125 m³ harç ile (Poz No: 10.003-10.003/MK) projesine uygun olarak taşıyıcı duvar yapılması, lüzumunda sulanması, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, her türlü malzeme ve zayıatı, işçilik araç ve gereç giderleri, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, taşıyıcı duvar yapılmasının 1 m³ fiyatı olarak tarif edilmektedir. 18.031/7 poz numaralı imalatın Çevre ve Şehircilik Bakanlığının birim fiyat tarif ve analizine göre birim fiyat tarif ve analizi Çizelge 5.3’de verilmiştir [115], [117].

Çizelge 5.3. Düşey delikli hafif tuğla duvar (18.031/7) birim fiyat tarif ve analizi.

18.031/7 MK (18.031/7) Pozu Analizi			
Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı
	Malzeme		
04.018/i5	Hafif duvar tuğlası 24*24*23,5 cm	AD	65
10.003/MK	200kg çimento dozlu harç yapılması (kâgir inşaat)	m ³	0,125
04.031	su	m ³	0,01
	İşçilik		
01.013	Duvarcı ustası	sa	0,6
01.501	Düz işçi (inşaat işçisi)	sa	0,9
01.501	Düz işçi (inşaat işçisi)	sa	0,4

5.1.4. Alçı Sıva (15.280.1011)

Alçı Sıva “TS EN 14496, Alçı Esaslı Yapıştırıcılar- Isı/Ses Yalıtımı İçin Kompozit Levhalar ve Alçı Levhalar İçin Tarifler, Gereklere ve Deney yöntemleri” standardı ile tanımlanmıştır. Eski Poz Numarası 27.528/2 olan Alçı Sıvanın Yeni Poz Numarası 15.280.1011 ve birimi m² olan bu imalatın tanımı Sıva Üzerine Saten Alçı Kaplama Yapılmasıdır. Kaplanacak yüzeylerin; temizlendikten sonra hazırlanan saten alçı harcının (Poz no:10.061/2) çelik mala ile düzgün ve pürüzsüz bir yüzey elde edilinceye kadar çekilmesi, gerektiğinde zımparalanması, tozlardan temizlenmesi için her türlü malzeme ve zayıatı, işyerinde yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma, işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, 1 m² fiyatı olarak tarif edilmektedir. 15.280.1011 poz numaralı imalatın Çevre ve Şehircilik Bakanlığının birim fiyat tarif ve analizine göre birim fiyat tarif ve analizi Çizelge 5.4’de verilmiştir [116], [117].

Çizelge 5.4. Alçı sıva (15.280.1011) birim fiyat tarif ve analizi.

27.528/2 Pozu Analizi			
Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı
	Malzeme		
10.061/2	Saten alçı harcı yapılması	m ³	0,005
04.031	Su	m ³	0,01
04.511	Zımpara kâğıdı	AD	0,5
	İşçilik		
01.012	Sıvacı ustası	sa	0,4
01.501	Düz işçi (inşaat işçisi)	sa	0,25

5.2. MEVCUT TUĞLA DIŞ DUVAR'IN ISIL GEÇİRGENLİK DİRENCİNİN HESABI (1/U)

Bir yapı elemanının toplam ısı geçirgenlik direnci (1/U); yapı elemanlarının ısı geçirgenlik dirençlerine (R) ile iç ve dış yüzeysel ısı iletim dirençleri (R_i ve R_e) toplanarak hesaplanabilir. Yapı elemanlarının ısı geçirgenlik dirençleri (R); yapı elemanı kalınlığının (d) ısı iletkenlik değerine bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Mevcut dış duvarın “Toplam Isıl Geçirgenlik Dirençleri” Çizelge 5.5’de gösterilmiştir [29].

1/U: Toplam ısı geçirgenlik direnci, $1/U = R_i + R + R_e$ ve $R = d/\lambda_h$

R: Isıl iletkenlik direnci (m².K/W)

d: Yapı elemanının kalınlığı (m)

λ_h : Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K)

Çizelge 5.5. Mevcut dış duvar kesit elemanları ve toplam ısı iletkenlik direnç hesapları.

Duvar kesit elemanları	Eleman kalınlığı (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K), λ_h	Isıl iletkenlik direnci (m ² .K/W), $R = d/\lambda_h$
İç yüzey iletim katsayısı	-	-	0,13
Alçı sıva (15.280.1011)	0,003	0,7	0,004
Extrude Polistren Köpük (15.335.1001)	0,03	0,04	0,750
Yapıştırıcı Harç (10.330.2503)	0,01	1,4	0,007
Düsey delikli hafif tuğla duvar 240x240x235(18.031/7)	0,24	0,68	0,352
Dış sıva (15.275.1011)	0,02	1,4	0,014
Dış yüzey iletim katsayısı	-	-	0,04
Toplam Isıl iletkenlik direnci (m ² .K/W), $\Sigma R = \Sigma d/\lambda_h$			1,297
1/U: Toplam ısı geçirgenlik direnci, $1/U = R_i + R + R_e$ ise $U = 1/\Sigma R$			0,771

Düzce ili ikinci derece gün bölgesinde bulunmaktadır [29] . Derece gün bölgelerine göre yapılarda dış duvar, tavan, taban ve pencereler için olması gereken toplam ısıl geçirgenlik direnç değerleri Çizelge 5.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri.

	U_o (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_t (W/m ² K)	U_p^x (W/m ² K)
1.Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2.Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3.Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4.Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

Çizelgeden görüleceği gibi ikinci derece gün bölgesi için dış duvarlarda olması gereken toplam ısıl geçirgenlik direnç değerinin $U=0,6$ 'dır. İncelemeye konu olan binalarda TS 825 açısından toplam ısıl geçirgenlik direnci 0,771 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, incelenen binaların dış duvar kesitlerinin TS825 şartlarını sağlamadığını göstermektedir. Hesap sonucunda bulunan toplam ısıl geçirgenlik direnç değerinin “ $U=0,6$ ” ya eşit yada küçük olması gerekir. Ancak hesaplanan değer “ $U=0,771$ ” olması incelenen dış duvar kesitinin ısı izolasyonu açısından yaklaşık %28,5 oranında uygun olmadığı anlamına gelmektedir. Bu durumda dış duvar kesitinin ısı izolasyonu açısından uygun olabilmesi için Extrude Polistren Köpük kalınlığının artırılması durumunda $U=0,6$ değeri sağlanabilecektir. Bu durumda hesap aşağıdaki gibi düzenlenmiş ve gerekli hesaplar yapılarak sonuçları Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. TS 825’e uygun olarak düzenlenmiş hesap tablosu.

	Eleman kalınlığı (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K), λ_h	Isıl iletkenlik direnci (m ² .K/W), $R=d/\lambda_h$
İç yüzey iletim katsayısı	-	-	0,13
Alçı sıva (27.528)	0,003	0,7	0,004
Extrude Polistren Köpük	X	0,04	Y
Yapıştırıcı Harç	0,01	1,4	0,007
Düşey delikli hafif tuğla duvar 240x240x235(18.031/7)	0,24	0,68	0,352
Dış sıva (27.501)	0,02	1,4	0,014
Dış yüzey iletim katsayısı	-	-	0,04
Toplam Isıl iletkenlik direnci (m ² .K/W), $\Sigma R=\Sigma d/\lambda_h$			0,447+Y
1/U: Toplam ısıl geçirgenlik direnci, $1/U= R_i + R + R_e$ ise $U=1/\Sigma R$			0,6

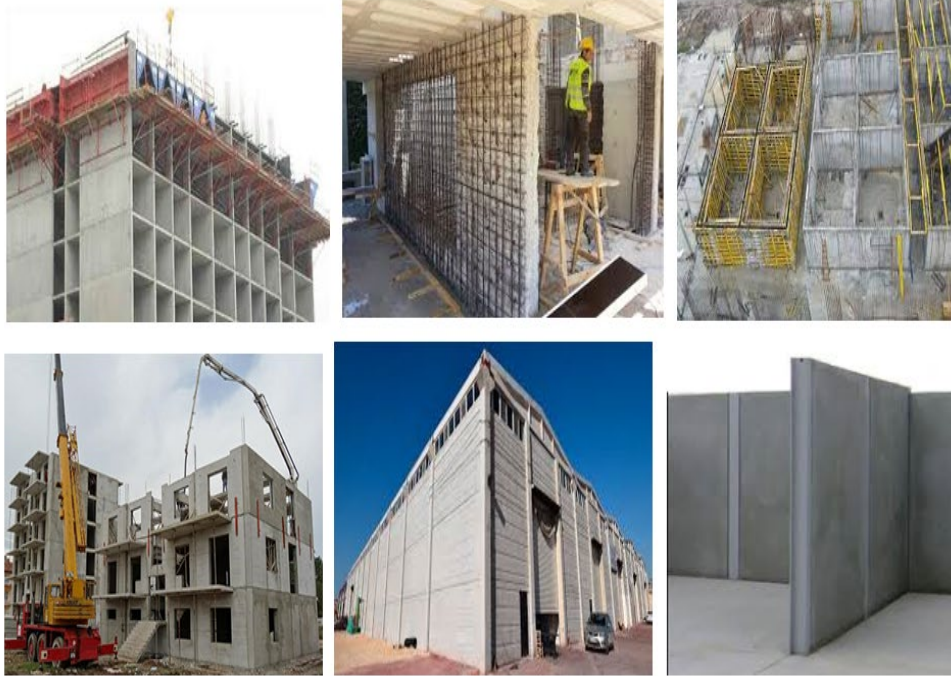
$U=0,6$ olarak dikkate alındığında ise; $0,6=1/\Sigma R$ ise buradan $\Sigma R=1,666$ olarak hesaplanır. Bu ifadeden, $1,666=0,547+Y$ olarak yazılırsa, $Y=1,666-0,547$ den $Y=1,119$ olarak hesaplanır. Çizelgedeki değerlerden $Y=X/0,04$ olarak yazıldığında ise buradan $X=0,04 \times 1,119$ olarak hesaplanır. Bu hesap sonucunda ise $X=0,0447$ m olarak bulunur. Bu sonuç ikinci derece gün bölgesinde bulunan Düzce’de dış duvarda 3 cm kalınlıkta kullanılan “Extrude Polistren Köpük” kalınlığının **yetersiz olduğu** anlaşılmıştır. Bu nedenle TS825 şartının sağlanabilmesi için dış duvarda kullanılması gereken Extrude Polistren Köpük kalınlığının en az 4,47 cm olması gerektiği tespit edilmiştir. Ancak piyasa şartlarında 4,47 cm kalınlığında Extrude Polistren Köpük olmadığı için incelenen dış duvarda Extrude Polistren Köpük kalınlığının 5 cm olması gerektiği tespit edilmiştir. BEES modeli 60 yıl için, metal çita veya tel örgü üzerine $0,09 \text{ m}^2$ (1 ft^2) yüzey alanına uygulanan sıvayı birim olarak kabul etmektedir. Konut ve ticari uygulamalar üç kat sıva için kullanılırken, konut ve hafif ticari uygulamalarda tek kat kullanılabilir (66). BEES’te, üç katlı sıva kalınlığı 2,22 cm’dir (7/8 inç). Birinci ve ikinci katların her biri 0,95 cm (3/8 inç) kalınlığında ve son kat 0,32 cm (1/8 inç) kalınlığındadır. Taban ve son kat yoğunlukları Portland çimentosu ve duvar harcı için Çizelge 6.1’de gösterilmektedir. Portland çimentosu ve duvar harcı için BEES modelinde kullanılmak üzere iki çimento türü için yaşam döngüsü verilerinin ortalaması (50-50) alınmıştır. BEES’teki tek kat sıva 0,95 cm (3/8 inç) kalınlığında bir taban katı ve 0,32 cm (1/8 inç) son kat olarak modellenmiştir (ORNL, 2012). Sert köpük yalıtımı 2,54 cm (1 inç) genişletilmiş polistirendir (EPS). Tuğla ve tuğla duvar ile ilgili uygulama örnekleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.1) [117], [118].



Şekil 5.1. Tuğla ve tuğla duvar ile ilgili uygulama örnekleri.

5.3. DIŞ DUVARIN BETON OLMASI DURUMUNDA ISIL GEÇİRGENLİK DİRENCİNİN HESABI

Dökme beton duvarlar, donatılı ya da donatısız olarak hazırlanmış duvar kalıplarına yerinde harç konarak teşkil edilen plaklardır. Bu tip duvarlar betonun ısıyı geçirmesi nedeni ile daha çok bodrum ve istinat duvarlarında görülmekle birlikte yapının diğer birimlerinde dış duvar olarak kullanılabilir. Beton, kalıba tabakalar halinde döküp sıkıştırılarak yapılmaktadır. Duvar içinde kapı, pencere, galeri, havalandırma, aydınlatma vb. boşluklar bırakılması gerektiğinde bu boşluklar ölçüsüne uygun olarak kalıp içerisinde oluşturulur ve beton döküldükten sonra kalıp söküldüğünde ise projesine uygun olarak boşluklar oluşur. Boşluklardan geçemeyen donatı ise boşluğun dört kenarına dikey ve yatay olarak kenarlara kırk beş derece açısı ile de köşelere yakın yerlere yerleştirilerek boşluklardan dolayı olacak gerilmeler karşılanır. Beton-betonarme duvarlarla ilgili uygulama örnekleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.2) [119], [120].



Şekil 5.2. Beton duvar ile ilgili uygulama örnekleri.

Dış duvarın beton-betonarme olması durumunda TS825'e göre ısı geçirenlik direnci hesaplanmış ve $U=0,6$ değerinin sağlanabilmesi için gerekli olan izolasyon tabakası kalınlığı belirlenmiştir (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8. TS 825'e uygun olarak düzenlenmiş hesap tablosu.

Duvar kesit elemanları	Eleman kalınlığı (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K), λ_h	Isıl iletkenlik direnci ($m^2.K/W$), $R=d/\lambda_h$
İç yüzey iletim katsayısı	-	-	0,13
Alçı sıva (27.528)	0,003	0,7	0,004
Beton duvar	0,20	2,5	0,08
Yapıştırıcı Harç	0,01	1,4	0,007
Extrude Polistren Köpük	X	0,04	Y
Dış sıva (27.501)	0,02	1,4	0,014
Dış yüzey iletim katsayısı	-	-	0,04
Toplam Isıl iletkenlik direnci ($m^2.K/W$), $\Sigma R=\Sigma d/\lambda_h$			0,275+Y
1/U: Toplam ısıl geçirgenlik direnci, $1/U= R_i + R + R_e$ ise $U=1/\Sigma R$			0,6

$U=0,6$ olarak dikkate alındığında ise; $0,6=1/\Sigma R$ ise buradan $\Sigma R=1,666$ olarak hesaplanır. Bu ifadeden, $1,666=0,275+Y$ olarak yazılırsa, $Y=1,666-0,275$ den $Y=1,391$ olarak hesaplanır. Çizelgedeki değerlerden $Y=X/0,04$ olarak yazıldığında ise buradan $X=0,04 \times 1,391$ olarak hesaplanır. Bu hesap sonucunda ise $X=0,0556$ m olarak bulunur. TS825 şartının sağlanabilmesi için dış duvarda kullanılması gereken Extrude Polistren Köpük kalınlığının en az 5,56 cm olması gerektiği tespit edilmiştir. Ancak piyasa şartlarında 5,56 cm kalınlığında Extrude Polistren Köpük olmadığı için incelenen dış duvarda Extrude Polistren Köpük kalınlığının **6 cm olması** gerektiği tespit edilmiştir.

5.4. DIŞ DUVARIN GAZ BETON OLMASI DURUMUNDA ISIL GEÇİRGENLİK DİRENCİNİN HESABI

TS EN 771-4 ve TS EN 998-2'ye uygun olarak üretilen gaz beton, ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç ve/veya çimento) ile hazırlanan karışımın, gözenek oluşturu bir madde ilâvesi ile hafifletilmesi ve buhar küre ile sertleştirilmesiyle elde edilen gözenekli hafif bir beton olarak karşımıza çıkmaktadır [121], [122]. Piyasada bir markanın adı olmakla birlikte bu malzemeye Ytong da denilmektedir. Gaz betonun temel özelliği gözenekli yapısıdır. Hacminin yaklaşık %70-80'ini oluşturan bu gözenekli yapı gaz betonun hafifliğini sağlamakla birlikte gözeneklerde bulunan ve ısı iletim katsayısı çok düşük olan hava yardımıyla da iyi bir yalıtım özelliği sağlamaktadır. Hafif olması yapıda oluşan deprem yüklerini azaltması açısından oldukça önemli bir yapı elemanıdır. Gaz beton, yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı

olmayan yapı elemanı olarak farklı noktalarda, kullanım alanına uygun olarak geliştirilmiş ürün çeşitleriyle yer almaktadır. Yaklaşık bir asırdır var olan ve kullanılan gaz beton ilk olarak, 1889 yılında harç içerisine gözenek oluşturucu katkı maddesinin ilave edilmesi ile ortaya çıkmış ve bu tarihte gözenekli harç imalatı için ilk patent alınmıştır. Daha sonra sürekli gelişerek devam eden gözenekli beton arayışları 1920'li yıllarda İsveçli mimar Johan Axel Ericsson'un, ince öğütülmüş gaz beton hammaddeleri içerisine gözenek oluşturucu katkı maddesi olarak alüminyum tozunu ilave etmesi ve bu karışıma basınçlı buhar altında mukavemet kazandırması ile bugünkü gaz beton ortaya çıkmıştır. Bu çalışmaları sonucunda Ericsson 1923 yılında ilk gözenekli hafif beton patenti almıştır. Bu keşiften sonra hızla yaygınlaşan gaz beton bugün tüm dünyada kullanılan bir yapı malzemesi durumuna gelmiştir. Ülkemizde ise ilk olarak 1950'lerde bir otel inşaatında kullanılan gaz beton 1960'larda İstanbul'da kurulan bir fabrikada üretilmeye başlanmıştır. Gaz beton hammadde olarak kuvarsit, çimento ve kireçten oluşmaktadır. İnce toz kıvamında hazırlanan bu hammaddelere su ve gözenek oluşturucu alüminyum ilave edilerek gaz beton harcı hazırlanır. Daha sonra hazırlanan bu karışım kalıp arabalarına dökülür. Donatılı yapı elemanı üretimi yapılacak ise döküm işlemi öncesinde, yapı elemanları için korozyona karşı korunmuş, çelik hasır donatılar kalıba yerleştirilir. Bu sırada kalıp arabalarına dökülen karışım harcı içerisinde bulunan kirecin su ile reaksiyona girmesi sonucu açığa çıkan enerji yardımıyla alüminyum tozu da reaksiyona girer ve reaksiyon sonucu hidrojen açığa çıkar. Bu hidrojenin oluşturduğu gaz kabarcıkları sonucu karışım kabarmaya başlar ve gaz betonun asıl özelliği olan gözenek yapısı oluşur. Kalıp arabaları döküm işleminin ardından sıcaklığı sürekli kontrol altında tutulan bekleme tüneline sertleşmeye bırakılır. 3-4 saatlik süre sonunda kesim sertliğine ulaşan gaz beton, kesim tezgahlarına alınır ve burada istenilen boyutlarda milimetrik olarak kesilir.

Bu işlemler sonucunda gaz betonun gözenekli yapısı tam olarak oluşmuş ve kullanım ölçülerinde kesilmiştir ancak mukavemet açısından henüz istenilen özelliklere sahip değildir. Mekanik özelliklerin kazandırılması amacıyla, kesim işlemi tamamlanan gaz beton otoklavlara alınarak basınçlı buhar altında şartlandırmaya tabi tutulur ve bu şartlandırma işlemi sonucunda gaz beton istenilen basınç dayanımına ulaşır. Otoklavlardaki buhar küründen çıkan ürünler, kalite kontrol işleminden sonra kullanıma sunulur. Gaz beton boşluklu yapısı sayesinde yoğunluğu 300 – 800 kg/m³ arasında değişirken boşluksuz yoğunluğu yaklaşık olarak 2600 kg/m³'dir. Gaz beton yanmayan bir

yapı malzemesi olup 1000°C civarında sinterleşmeye, 1100–1200°C civarında da erimeye başlar. Gaz beton malzemesinin gözenek oranı üretim sınıfına bağlı olarak %70-88 arasında değişmektedir. Gaz betonun gözenek miktarının artmasıyla birlikte ısı iletkenliği ve kuru yoğunluğu istenilen bir şekilde azalır ancak buna paralel olarak mekanik dayanımı da azalmaktadır. Gaz beton malzemesi ve gaz betonun uygulanması ile ilgili fotoğraflar aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.3) [123], [124].



Şekil 5.3. Gaz beton malzemesi ve gaz beton uygulamaları.

Dış duvarın gaz beton olması durumunda TS825'e göre ısı geçirgenlik direnci hesaplanmış ve $U=0,6$ değerinin sağlanabilmesi için gerekli olan izolasyon tabakası kalınlığı belirlenmiştir (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9. Gazbeton için TS 825'e uygun olarak düzenlenmiş hesap tablosu.

Duvar kesit elemanları	Eleman kalınlığı (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K), λ_h	Isıl iletkenlik direnci ($m^2.K/W$), $R=d/\lambda_h$
İç yüzey iletim katsayısı	-	-	0,13
Alçı sıva (27.528)	0,003	0,7	0,004
Gaz beton (ytong vb.)	0,2	0,19	1,052
Yapıştırıcı Harç	0,01	1,4	0,007
Extrude Polistren Köpük	X	0,04	Y
Dış sıva (27.501)	0,02	1,4	0,014
Dış yüzey iletim katsayısı	-	-	0,04
Toplam Isıl iletkenlik direnci ($m^2.K/W$), $\Sigma R=\Sigma d/\lambda_h$			1,247+Y
1/U: Toplam ısı geçirgenlik direnci, $1/U= R_i + R + R_e$ ise $U=1/\Sigma R$			0,6

$U=0,6$ olarak dikkate alındığında ise; $0,6=1/\Sigma R$ ise buradan $\Sigma R=1,666$ olarak hesaplanır. Bu ifadeden, $1,666=1,247+Y$ olarak yazılırsa, $Y=1,666-1,247$ den $Y=0,419$ olarak hesaplanır. Çizelgedeki değerlerden $Y=X/0,04$ olarak yazıldığında ise buradan $X=0,04 \times 0,419$ olarak hesaplanır. Bu hesap sonucunda ise $X=0,0167$ m olarak bulunur. TS825 şartının sağlanabilmesi için dış duvarda kullanılması gereken Extrude Polistren Köpük kalınlığının en az 1,67 cm olması gerektiği tespit edilmiştir. Ancak piyasa şartlarında 1,67 cm kalınlığında Extrude Polistren Köpük olmadığı için incelenen dış duvarda Extrude Polistren Köpük kalınlığının **2 cm olması** gerektiği tespit edilmiştir.

5.5. DIŞ DUVARIN BİMS-BRİKET BETON OLMASI DURUMUNDA ISIL GEÇİRGENLİK DİRENCİNİN HESABI

Bims&briket beton duvar elemanları TS EN 771-3'e uygun olarak üretilmektedir [125]. Bims; fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı iç ve dış duvar yapı taşıdır. İnşaat sektöründe sıklıkla kullanılır ve pomza taşı olarak da bilinir. Bims, volkanizma sonucu oluşan, kristalize, birbirinden bağımsız gözenekli, süngerimsi, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı, doğal, volkanik bir kayadır. Beton briket; kum, çakıl, tuf cürufu, tuğla, kiremit kırıkları, Bims (sünger taşı), pomza gibi malzemelerin, çimento ve su ile karıştırılıp; özel kalıplarda, dövme, pres veya vibre işlemlerinden geçmesi sonucu elde edilir. 1m^3 dolgu malzemesine, 250-300 kg çimento katılarak oluşan harcın kalıplara dökülmesiyle elde edilen boşluklu veya dolu olarak üretilen briket duvarlar, diğerlerine göre daha ağır ve daha dayanıklıdır. Bims duvar blokları özel yapıştırıcılar ile örülebilmektedir. Duvar örülürken harcın boşlukları doldurmaması, izolasyon özelliğini bozmaması ve harcın kolay serilerek iyi bir yapıştırma sağlaması için Bims&briket'in kapalı yüzeyleri üst tarafa getirilerek örülmelidir. Bims-briket malzemesi ve bims&briket betonun uygulanması ile ilgili fotoğraflar aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.4). [126].



Şekil 5.4. Bims-briket malzemesi ve bims&briket betonun uygulanması.

Dış duvarın bims&briket beton olması durumunda TS825'e göre ısı geçirenlik direnci hesaplanmış ve $U=0,6$ değerinin sağlanabilmesi için gerekli olan izolasyon tabakası kalınlığı belirlenmiştir (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10. TS 825'e uygun olarak düzenlenmiş hesap tablosu.

Duvar kesit elemanları	Eleman kalınlığı (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K), λ_h	Isıl iletkenlik direnci ($m^2.K/W$), $R=d/\lambda_h$
İç yüzey iletim katsayısı	-	-	0,13
Alçı sıva (27.528)	0,003	0,7	0,004
Bims beton	0,20	0,31	0,645
Yapıştırıcı Harç	0,01	1,4	0,007
Extrude Polistren Köpük	X	0,04	Y
Dış sıva (27.501)	0,02	1,4	0,014
Dış yüzey iletim katsayısı	-	-	0,04
Toplam Isıl iletkenlik direnci ($m^2.K/W$), $\Sigma R=\Sigma d/\lambda_h$			0,84+Y
1/U: Toplam ısı geçirenlik direnci, $1/U= R_i + R + R_e$ ise $U=1/\Sigma R$			0,6

$U=0,6$ olarak dikkate alındığında ise; $0,6=1/ \Sigma R$ ise buradan $\Sigma R=1,666$ olarak hesaplanır. Bu ifadeden, $1,666=0,84+Y$ olarak yazılırsa, $Y=1,666-0,84$ den $Y=0,826$ olarak hesaplanır. Çizelgedeki değerlerden $Y=X/0,04$ olarak yazıldığında ise buradan $X=0,04 \times 0,826$ olarak hesaplanır. Bu hesap sonucunda ise $X=0,0330$ m olarak bulunur. TS825 şartının sağlanabilmesi için dış duvarda kullanılması gereken Extrude Polistren Köpük kalınlığının en az 3,30 cm olması gerektiği tespit edilmiştir. Ancak piyasa şartlarında 3,30 cm kalınlığında Extrude Polistren Köpük olmadığı için incelenen dış duvarda Extrude Polistren Köpük kalınlığının **4 cm olması** gerektiği tespit edilmiştir.

6. BEES (BÜİLDİNG FOR ENVİRONMENTAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY) YÖNTEMİ İLE DİŞ DUVARLARIN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMELERİ

6.1. GENEL DİŞ SIVA

Sıva tipik olarak duvarlara uygulanan kum, çimento ve kireç karışımıdır. Sıvanın estetik, renk uyumu, yangına dayanıklı, dış etkilere dayanıklı, yüksek aşınma direnci olması ve düşük bakım gerektirmesi tercih edilir. BEES, iki tür sıva içerir. Geleneksel üç kat sıva, iki ana kat ve bir son kat Portland çimentosu ve/veya duvar çimentosu ile yapılır. Geleneksel sıva alternatifi olan tek kat sıva, üç katın neredeyse yarısı kadar çimento ve sert bir köpük kaplama katmanı kullanılarak bir taban kat ve bir son kat sıva çimentosundan oluşur [30].

6.1.1. Ürün Tanımı

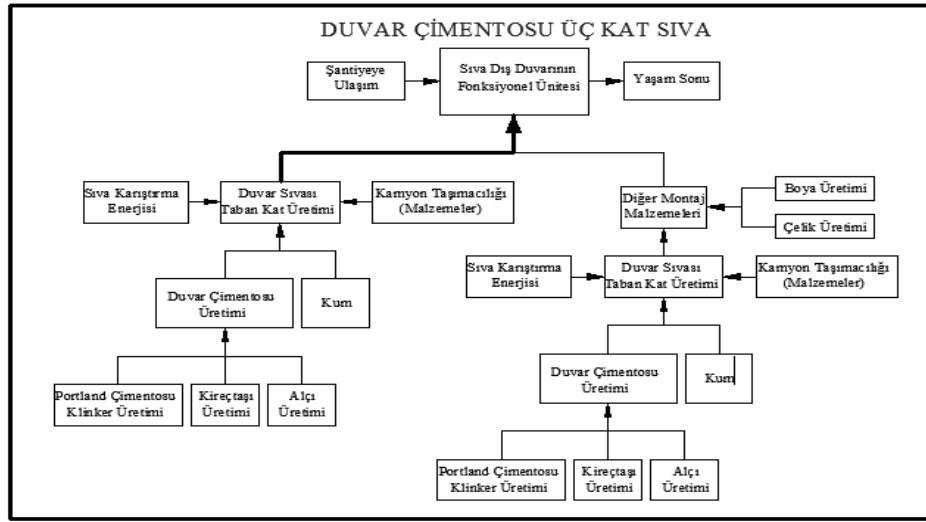
BEES modeli 60 yıl için, metal çita veya tel örgü üzerine $0,09 \text{ m}^2$ (1 ft^2) yüzey alanına uygulanan sıvayı birim olarak kabul etmektedir. Konut ve ticari uygulamalar üç kat sıva için kullanılırken, konut ve hafif ticari uygulamalarda tek kat kullanılabilir (66). BEES'te, üç katlı sıva kalınlığı 2,22 cm'dir (7/8 inç). Birinci ve ikinci katların her biri 0,95 cm (3/8 inç) kalınlığında ve son kat 0,32 cm (1/8 inç) kalınlığındadır. Taban ve son kat yoğunlukları Portland çimentosu ve duvar harcı için Çizelge 6.1'de gösterilmektedir. Portland çimentosu ve duvar harcı için BEES modelinde kullanılmak üzere iki çimento türü için yaşam döngüsü verilerinin ortalaması (50-50) alınmıştır. BEES'teki tek kat sıva 0,95 cm (3/8 inç) kalınlığında bir taban katı ve 0,32 cm (1/8 inç) son kat olarak modellenmiştir (ORNL, 2012). Sert köpük yalıtımı 2,54 cm (1 inç) genişleştirilmiş polistirendir (EPS). Üç katlı sıva yapımı tanımlanmış olsa da (yani, belirtilen miktarlarda Portland çimentosu ve/veya duvar harcı), tek kat sıva yapımı tanımlanmamış veya açıkça ASTM standartları tarafından kapsanmamıştır, tek kat sıva için performans uygun formülasyonlar kullanılmalıdır [30].

Çizelge 6.1. Alçı Çimento Türüne göre Sıva Yoğunluğu.

Sıva Türü	Yoğunluk kg/m ³ (lb/ft ³)
Portland Çimentosu Baz Kat (C Tipi Sıva)	1830 (114)
Portland Çimentosu Son Kat (F Tipi Sıva)	1971 (123)
Duvarcılık Çimentosu Baz Kat (MS Tipi Sıva)	1907 (119)
Duvarcılık Çimentosu Son Kat (FMS Tipi Sıva)	2175 (136)

6.1.2. Akış Diyagramı

Şekil 6.1 akış diyagramı, Portland çimentolu üç kat sıva, duvar harcı üç kat sıva ve tek kat sıva dış cephe kaplamalarının ana unsurlarını göstermektedir [30].



Şekil 6.1. Duvar harcı üç kat sıva sistem sınırları

6.1.3. Ham Madde

Portland çimentosu ve duvar harcı ilk ve son kat kaplamada kullanılan üç kat sıvanın bileşenleri ASTM-C926-94'e göre Çizelge 6.2.'de gösterilmiştir [127].

Çizelge 6.2. Üç kat sıva bileşenleri.

Bileşenler	Malzemeler (Hacimsel oranlar)			Kum (Çimentolu Malzemenin hacimsel oranı)
	Portland Çimentosu	Duvar Harcı	Kireç	
İlk kat C	1		1,125	3,25
Son kat F	1		1,125	3
İlk kat MS		1		3,25
Son kat FMS		1		3

Çimento, aşağıda açıklanan ortalama duvar harcı ve Portland çimentosu olarak modellenmiştir. Polimerin akrilik polimer olduğu varsayılmaktadır. Tek kat sıvanın üst katı hem bileşim hem de kalınlık olarak üç kat sıva için kullanılan üst kaplama ile aynıdır. Portland ve Duvar Çimentosu Üretimi: Portland çimentosu verileri, Portland Çimento Birliği'nin (PCA's) ABD endüstri ortalaması verilerinden alınmıştır [128]. Duvar çimentosu için hammadde kullanımı Tip N duvar çimentosuna dayanmakta ve bileşenleri Çizelge 6.3. 'de gösterilmektedir [129].

Çizelge 6.3. Tip N duvar çimentosu bileşenleri.

Bileşenler	Kütlesel oran (%)
Portland çimento klinkeri	57,5
Kireçtaşı	36,1
Alçı	4,9
Toz	1,1
Diğer girdiler	0,5
Total	100

Hammaddelerin taşınması: Sıva için kullanılan hammaddelerin çoğu yerel kaynaklıdır; Malzemelerin %90'ının kamyonla 322 km (200 mil) taşındığı varsayılmıştır. Kalan malzemeler demiryolu ile ortalama 3219 km (2000 mil) taşınır.

6.1.4. İmalat

Sıva şantiyede, imalat alanında üretilir ve uygulanır. Bu konuda daha detaylı açıklamalar sıva yapımı ve uygulaması başlığı altında açıklanmıştır.

6.1.5. Ulaşım

Sıva hammaddelerinin taşınma mesafeleri yerel şartlara göre belirlenebilmektedir. Çalışmamızda taşıma mesafesi Düzce şartlarına göre değiştirilerek kullanılmıştır.

6.1.6. Sıva Yapımı, Uygulaması

Sıva genellikle şantiyeye 42,6 kg torbalarda teslim edilir. Benzinli, dizel veya elektrikli karıştırıcılar günde otuz torba sıva hazırlayabilir. Şantiyelerde büyük pompalar da kullanılabilir. Bunlar günde yaklaşık 200 torba pompalayabilir ve bu da üretim süresini ve verimliliği önemli ölçüde artırır. Sıva Üreticileri Derneği'ne (SMA) göre, pompalar kullanılan torbalı plastik çimentonun yaklaşık %75'inde pompa kullanılmaktadır ve BEES analizlerde bu hazırlama yöntemini modellemektedir. Pompalama motoru, günde

yaklaşık 37,8 lt ila 45,4 lt (10 gal ila 12 gal) benzin veya dizel yakıt kullanan ve hazırlanan 454 kg (1000 lb) sıva başına 2,2 lt (0,585 gal) yakıt kullanan dört silindirli bir pompadır. Sıva, ahşap ve çelik çerçeve malzemeleri üzerine daha hafif bir çelik ürün olan metal çita veya örgü tel üzerine monte edilebilir. Metal çita tüm uygulamalarda kullanılabilirken, günümüzde en çok üç kat ticari uygulamalarda kullanılmaktadır. Tipik olarak duvar alanının 0,09 m²'si (1ft²) başına 0,15 kg (033 lb)'dir. Örgü tel, öncelikle konut uygulamaları için kullanılır. Üç kat sıva için ise örgü tel, 0,09 m² (1 ft²) duvar alanı başına yaklaşık 0,113 kg (0,25 lb) olarak modellenmiştir. Tek kat sıva için, köpük kaplamayla birlikte daha hafif bir örgü tel kullanılır 0,09 m² (1 ft²) duvar alanı başına yaklaşık 0,057 kg (0,125 lb) örgü tel kullanılır. Tüm bu malzemelerde, inşaat malzemeleri için kullanılan çelikteki tipik geri dönüştürülmüş içerik kullanılır. EPS sert köpük kaplama, tek kat sıva sistemi sınırlarına dâhildir. Bir inçlik EPS köpük levha, 0,057 kg (0,125 lb) olarak modellenmiştir. Köpük levhalara püskürtülen EPS reçinesi verileri, endüstri ortalaması birincil verilerine dayanır ve ABD "LCI" (Life-Cycle Inventory) veri tabanından gelir. Köpük, drenaj sağlamak için tipik olarak arka tarafta olukludur. EPS köpüğü bazı yalıtım faydaları sağlarken, bina kodu yine de ek yalıtım gerektirir (bu kategorideki diğer ürünlerle tutarlı, bu ekstra yalıtım sıva analizine dâhil edilmemiştir). Bina kodu, yaygın olmasına rağmen üç kat sıva için mantolama gerektirmez. BEES'teki diğer ürünlerle tutarlı olması için, BEES için mantolama üç kat sıva sistemi sınırlarına dâhil edilmemiştir. Her iki ürün için de dış duvar sistemini tamamlamak için gerekli olabilecek hava koşullarına dayanıklı bariyerler ve diğer yardımcı malzemeler BEES dış cephe kaplamalarında sistem sınırlarına dâhil değildir. Kurulum işlemi sırasında az miktarda, yaklaşık %1'lik bir atık oluştuğu varsayılır. Kurulumda üretilen hurda EPS, toplamın %2'si olarak kabul edilir. Sıvalı yapıların boyandığı varsayılmaktadır. Montaj sonrası dış cephe kaplaması iki kat akrilik boya ile boyanmış olarak modellenir. Dış akrilik boya için 0,09 m² (1 ft²) başına 0,0175 kg (0,0079 lb) miktarında BEES için analizde solvent bazlı bir boya olarak modellenmiştir [30], [43].

6.1.7. Kullanım

Sıva dış cephe kaplaması, 60 yıl boyunca toplam üç ek boya kaplaması olacak şekilde her on beş yılda bir tek kat boya ile yeniden boyanacak şekilde modellenmiştir. Düzgün bir şekilde yerleştirilmiş bir sıva dış cephenin kullanım ömrü 100 yıl olacaktır. Bakım, hava koşullarına göre büyük ölçüde değişebilir, ancak genellikle minimumdur. Çatlak

onarimleri manuel olarak yapılır. Boyama dışında diğer bakımlar BEES modelinin sınırları dâhilinde değildir [30], [43].

6.1.8. Yaşamın (Hayatın) Sonu

Binanın kullanım ömrü sonunda, sıva ve çita veya dokuma telin bir inşaat ve yıkım depolama sahasına gönderildiği varsayılır. Kullanım ömrü sonu modellemesi, bu malzemelerin dizel yakıtla çalışan bir kamyonla yaklaşık 48 km (30 mil) bir çöp sahasına taşınmasını ve ayrıca bir çöp sahasındaki malzemelerin etkilerini içerir. Kamyon taşımacılığı, ABD LCI veri tabanına dayanır ve bir katı atık sahasında bertaraf, ecoinvent ömür sonu atık yönetimi süreci verilerine göre modellenir [30], [43].

6.2. TUĞLA&HARÇ

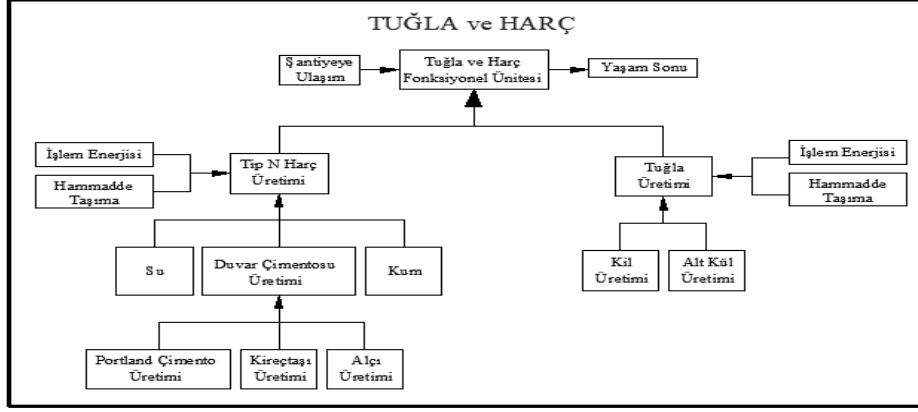
Tuğla, dikdörtgen şeklinde bir kalıp içinde plastik kıvamda iken bir fırında pişirilen kil veya şistten oluşan bir duvar birimidir. Harç, tuğlaları tek bir elemana yapıştırmak için kullanılır. Dış cephe montajlarının bir parçası olarak tuğla kaplamada genellikle cephe tuğlası veya içi boş tuğla kullanılır.

6.2.1. Ürün Tanımı

Tuğla ve harç için BEES modeli, pişirilmiş kille kaplı tuğlayı ve içi boş tuğlayı temsil eden modüler boyutlu bir tuğla birimini değerlendirir. Değerlendirilen tuğla biriminin gerçek boyutları 92x57x194 mm olarak kabul edilmiştir. Harç derzi dahil tuğla biriminin nominal boyutları 102×68×203 mm 'dir. Tuğla malzeme, pişirildikten sonra kil veya şist malzemesinin yaklaşık %25 ile %30'u ısıdan dolayı kaybolur. Pişirilmiş tuğla malzemesi 1,7 kg (3,7 lb) ağırlığındadır. Tuğlanın 1840 kg/m³ (115 lb/ft³) yoğunluğa ve maksimum %20 hava içeriğine sahip Tip N harç ile örüldüğü varsayılmaktadır. Örülen duvar miktarı tipik olarak duvar alanına (m² veya ft²) göre ölçülür. Bir tuğla duvarın yüzey alanına göre %80 tuğla ve %20 harç olduğu varsayılır. BEES için, bir binada fonksiyonel dış cephe kaplama alanı 0,09 m² (1 ft²)'dir ve cephe kaplamasının 60 yıl kullanılacağı kabul edilir [30], [43].

6.2.2. Akış Diyagramı

Şekil 6.2'deki akış diyagramı, şu anda BEES modelinde kullanılan Tuğla ve Harç üretiminin ana unsurlarını göstermektedir [30], [43].



Şekil 6.2. Tuğla&harç üretiminde sistem sınırları.

6.2.3 Ham Maddeler

Çizelge 6.4, tuğlanın neredeyse %100 çıkarılmış kil veya şist kullandığını göstermektedir. Günümüzde endüstriyel geri dönüştürülmüş bir malzeme olan dip (kalıntı-atık) külü, tuğla üretimi sırasında kile veya şiste eklenerek kullanılan en yaygın geri dönüştürülmüş malzemedir. %99,2 Kil veya şist girdilerinin tipik ikamesi kütlece %0,8 taban kalıntı-atık külüdür. [30], [43].

Çizelge 6.4. Pişirilmiş tuğla bileşenleri.

İçerik	Kütlece Oran (%)
Kil	99,2
Aip (Kalıntı) Kül	0,8

Üretim sürecinde çıkarılan tüm malzemeler üretim akışına geri döndürülür. Hurdaya çıkan pişirilmiş ürün, tuğla imalatında grog olarak veya peyzaj talaşı ve yol yatağı vb. için kullanılmaktadır. Tip N harç, tek bileşenli duvar çimentosu (hacim oranı) ve üç parça doğal veya imal edilmiş kum ve uygun kıvamı elde etmek için yeterli sudan oluşur. 0,009 m³ (1/3 ft³) duvar çimentosu, 0,028 m³ (1 ft³) kum ve yaklaşık 6,3 lt (1,7 gal) su karıştırıldığında yaklaşık 0,028 m³ (1 ft³) harç elde edilir. Duvar çimentosu için kullanılan hammadde Tip N duvar çimentosuna dayanmaktadır ve bileşenleri Çizelge 6.3'de gösterilmektedir (PCA, 2016-b). Duvar çimentosu malzemeleri, ABD koşullarına göre özelleştirilmiş ekonomi envanterlerine dayanmaktadır. Harçtaki bir miktar su kimyasal olarak bağlıdır, bu nedenle hidrasyon için net su tüketimi ağırlıkça bir miktar net su tüketimi vardır. Hidrasyon için ağırlıkça %25'e dayalı olarak, üretilen her 0,028 m³ (1 ft³) harç için yaklaşık 1,57 kg (3,5 lb) su kimyasal olarak bağlanır [30], [43].

6.2.4. Üretim

Enerji Gereksinimleri ve Emisyonlar; Tuğla üretimi için enerji gereksinimleri Çizelge 6.5'de listelenmiştir. Bu değerler, üretim sürecindeki en yoğun enerji gerektiren aşamalar olan kurutma ve yakma üretim aşamalarına dayanmaktadır. Yükseltilmiş elektrik motorları birçok tesise dahil edilmiş olmasına rağmen, genel beygir gücü gereksinimleri değişmemiş, bu nedenle kullanılan elektrik miktarı aynı kalmıştır. Üretim tesislerinin dağıtımını temsil etmek için şebeke elektrik kaynaklarının bir karışımı kullanılır [30].

Çizelge 6.5. Tuğla imalatı için enerji gereksinimleri.

Enerji Kaynağı	1 lb Başına Miktar
Doğal Gaz	0,022 m ³ ile 0,025 m ³ (0,775 ft ³ ile 0,871 ft ³)
Şebeke Elektriği	0,0810 MJ (0,0225 kWh)

Tuğla pişirme ve kurutma için emisyonlar, her bir üretim teknolojisi ve yakılan yakıt türü için tuğla üretiminden kaynaklanan emisyonlar için Ulusal Tuğla Araştırma Merkezi tarafından mevcut kayıtlara ve tuğla üreticilerinden ve seçilen ekipman satıcılarından alınan verilere dayanmaktadır [90].

Su tüketimi; Hammaddelere plastiklik kazandırmak için üretim sürecinde su kullanılır, bu da tuğlanın oluşturulmasına izin verir. Tuğla imalatında su kullanılmasına rağmen kimyasal olarak değiştirilmez veya bağlanmaz, ancak atmosfere buharlaşır. Ortalama olarak oluşturulan tuğlanın ağırlığının yaklaşık %20,5'i sudur ve kurutma işlemi sırasında atmosfere geri döner.

Hammaddelerin Taşınması; Tuğla üreticileri, nakliye azaltmak için genellikle tesisleri hazır kil kaynaklarının yakınına yerleştirirler. Tuğla hammaddeleri tipik olarak ocaktan kamyonla tuğla fabrikasına taşınır. Ocak ile fabrika arasındaki mesafe yaklaşık 24 km'dir (15 mil) [130].

Atık; Tuğla imalatı çok verimlidir. Ateşlemeden önce şekillendirme sürecinde çıkarılan işlenmiş kil ve şist, üretim akışına geri döndürülür. Pişirildikten sonra standartlara uymayan tuğlalar işlemiden çıkarılır ve tuğla yapımında grog olarak ya da zemin veya peyzaj malzemesi olarak kullanılmak üzere kırılır. İmalat sürecinden kaynaklanan hurda kaybı sadece %3'tür [131].

6.2.5. Ulaşım

Tuğlanın şantiyeye taşınması, BEES sisteminin bir değişkeni olarak modellenmiştir. Çoğu tuğla, şantiyeye demiryolu ile (sırasıyla %95 ve %5) çok daha az miktarda kamyonla taşınır. Gönderilen ortalama mesafe kamyonla 298 km (185 mil) ve demiryolu ile 961 km'dir (597 mil) [30]. Çalışmamızda taşıma mesafesi Düzce şartlarına göre değiştirilerek kullanılmıştır.

6.2.6. Uygulama-Yapımı-İmalatı

Harcın şantiyeye $0,76 \text{ m}^3$ (1 yd³) torbalarda (~2,7 kg veya ~94 lb) teslim edileceği varsayılmaktadır. Tuğla ve harç yapımı öncelikle el işçiliğinden oluşur; yapım aşaması için enerji kullanımı modellenmemiştir. Uygulama-Yapım aşamasındaki kayıpların ft² başına toplam malzemenin %5'i olacağı tahmin edilmektedir. Kurulum sürecinden kaynaklanan atıklar tipik olarak depolanmaktadır [30].

6.2.7. Kullanımı

Tuğla duvarlar genellikle 100 yıldan uzun süredir hizmet vermektedir. Tasarım özelliği olarak mevcut tuğla duvarlar ile eski binalar yeni kullanımlara uyarlanmıştır. 200 yıllık bir faydalı ömür varsayılmıştır. Düzgün tasarlanmış, detaylandırılmış ve inşa edilmişse, tuğla kaplama duvarlar çok az bakım gerektirir. Yığma duvar sistemindeki bazı bileşenler, periyodik bakım ve onarım gerektirebilir. Örneğin, duvarın bazı kısımlarında harç derzlerinin yeniden yapılması 50 yıl sonra gerekebilir, ancak bu küçük bakım görevi modelin sistem sınırına dâhil edilmemiştir. Tuğla ve harç kaplamalı binalar yalıtım gerektirirken, kaplamanın kendisi 10,2 cm (4 inç) tuğla kaplama için yaklaşık $R_{SI}=0,16$ ($R_{US}=0,9$) termal direnç değeri sağlar (RSI ve RUS birimleri sırasıyla $\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ and $^\circ\text{F}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{s}/\text{BTU}$). Deneyler, kaplama yapılmış duvarların termal performanslarının arkasında 2,5 cm boşluk gerektiren kaplamaların kendi termal performansına göre daha iyi olduğunu göstermiştir. Dış cephe kaplama alternatifleri arasındaki ısı performans farklılıkları hesaba katılmaz [30].

6.2.8. Ömür (Yaşamın) Sonu

Ömrünün sonunda tuğla duvarların yıkılması genellikle dikkatli bir şekilde yapılmaz. Yıkım topu veya patlayıcı gibi ekipmanlar kullanılarak duvarlar yıkılır ve bu da bir miktar tuğla kaybına neden olur. Tuğlanın yaklaşık %75'inin bir bütün olarak geri kazanılabileceği tahmin edilmektedir. Sağlam olan, çatlaklardan ve diğer kusurlarından

arındırılmış olan tuğlaların döşenmesi veya kullanılmasında sorunlar olabilir. Yeniden kullanılacak tuğla, yeni tuğla birimlerinin gereksinimlerini karşılamalı ve yeniden kullanılmadan önce eski harçtan temizlenmelidir. Harç, tipik olarak yıkım alanında keskiler ve çekiçler kullanılarak el emeği ile çıkarılır. Temizlenen tuğla yeni inşaat için satılır ve harç ve kırık tuğla çöplüklere alınır.

6.3. DIŞ CEPHE KAPLAMA ÜRÜNLERİ (EXTERIOR INSULATION AND FINISH SYSTEMS “EIFS”)

RPM International Inc.'e ait olan Dryvit Systems, Incorporated, Medina, OH, 1969'da Kuzey Amerika'da dış duvarın bir parçası olarak monte edilen yalıtım malzemesi olarak, dış cephe kaplama sistemi uygulanmaya başlandı. O zamandan beri, Dryvit'in Dış Görünümü Yalıtım ve Kaplama Sistemleri (Exterior Insulation and Finish Systems, EIFS) Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ticari binalar ve konutlarda kullanılmaktadır. Dryvit, biri West Warwick, RI'deki genel merkezi dahil olmak üzere ABD'de dört üretim tesisinde ve Kanada, Polonya ve Çin'de yan tesislerde üretilmektedir. Dış yalıtım sistemleri için veriler West Warwick, RI tesisine dayalıyken, Kanada sistemleri için veriler Stouffville, Ontario, Kanada tesisine dayanmaktadır [30].

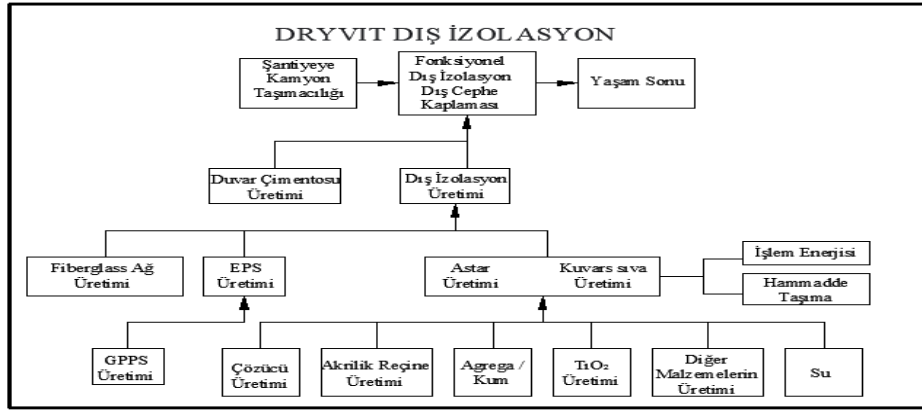
6.3.1. Ürün Açıklaması

Kaplama, genellikle “siding kareleri” veya $9,29 \text{ m}^2$ (100 ft^2) siding cinsinden belirtilir. BEES için işlevsel birim, bir binada 60 yıldır kullanılan $0,09 \text{ m}^2$ (1 ft^2) dış cephe kaplamasıdır. Tüm Dryvit EIFS kaplama sistemleri mantolama üzerine kurulur ve BEES ile diğer dış cephe kaplama ürünleri kaplanan dış duvar alanının $30,5 \times 30,5 \text{ cm}^2$ 'lik bir alanın fonksiyonu olarak değerlendirilir. Bu ürünler termal olarak verimli olmalarına rağmen, bir bina, yönetmeliği karşılamak için ek yalıtım gerektirir. Dryvit'e göre, EIFS sistemler, yaklaşık R-6 değerinde bir termal direnç değeri sağlar. Dış cephe kaplama alternatifleri arasındaki termal performans farkları BEES'te hesaba katılmaz. En yaygın kullanılan Dryvit EIFS kaplama sistemlerinden dördü BEES'te değerlendirilmektedir: ABD pazarı için “Dış Yalıtım ve İlave Dış Yalıtım” ve “İlave dış yalıtım ve Dış yalıtım MD”, Dryvit Systems Kanada tarafından Kanada pazarı için üretilmiştir. Bu Mantolama sistemleri, EPS yalıtım levhası ve cam elyafından oluşmaktadır. Cam elyaf, polimer modifiyeli çimento esaslı yapıştırıcı ve polimer bazlı son katı güçlendirmek amacı ile kullanılır. İlave dış yalıtım, duvarı korumayı amaçlayan ek bir hava ve nem bariyeri

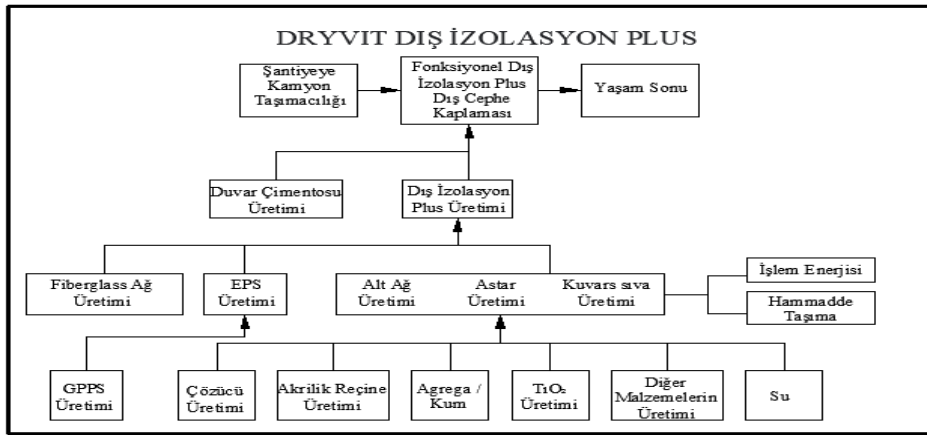
katmanına sahiptir. Duvarı nemden korur ve hava sızmasını durdurarak daha iyi yalıtım sağlar. Tüm bu kaplama sistemleri yeni ve mevcut binalara kurulabilir [30].

6.3.2. Akış Diyagramı

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'teki akış şemaları BEES için modellendiği şekliyle üretim sistemin ana unsurlarını göstermektedir [30].



Şekil 6.3. Dryvit dış izolasyon üretiminde sistem sınırları



Şekil 6.4. Dryvit dış izolasyon plus üretiminde sistem sınırları.

6.3.3. Ham Maddeler

Ürün Bileşenleri: ABD ve Kanada için Dış yalıtım ve İlave dış yalıtım, dış yalıtımın taban kaplaması, son kat ve son katın bir parçası olarak sunulan bariyer katmanı ilave dış yalıtım, Dryvit tesislerinde karıştırılır ve paketlenir. BEES için modellenen dış yalıtım katmanları malzemelerinin bir listesiyle birlikte Çizelge 6-6'de sunulmaktadır [30]:

Çizelge 6.6. Dış yalıtım ve ilave dış yalıtım ürün bileşenleri.

Bileşen	Yapıştırıcı-Taban Kaplaması	Üst yüzey	Bariyer-Geri kilit
Çözücü	Evet	Evet	Evet
Reçineler	Evet	Evet	Evet
Agrega	Evet	Evet	Evet
İnce Dolgu	Evet	Evet	
Titanyum dioksit (TiO ₂) karışımı	Evet	Evet	
Diğer malzemeler	Evet	Evet	Evet
Su	Evet	Evet	Evet

Ürün Bileşenleri: Dış yalıtımı MD. Dış yalıtımı MD'deki malzeme bileşenleri Dryvit'in Ontario tesisinde karıştırılır ve paketlenir. BEES için modellenen dış yalıtım MD tabakaları malzemelerinin listesi ile birlikte Çizelge 6.7'de sunulmuştur [30]:

Çizelge 6.7. Dış yalıtım MD ürün bileşenleri.

Bileşen	Bariyer	Yapıştırıcı-Taban kaplaması	Yanıp Sönme (Su Flaşı)	Astar (Renkli Astar)	Üst yüzey (Kum-Çakıl)
Çözücü	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Reçineler	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Agrega	Evet	Evet	Evet		
İnce Dolgu	Evet	Evet	Evet	Evet	
Titanyum dioksit (TiO ₂) karışımı	Evet	Evet	Evet	Evet	
Su	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet

Malzeme Verileri ve Modelleme, ekolojik malzeme verileri kireç olarak modellenen ince dolgu maddesi çözücüler (nafta olarak modellenmiştir) için kullanılır. Reçine, akrilik bazlı reçine olarak modellenmiştir. Agrega ve titanyum dioksit karışımı ilaveli bu reçine için veri ayrıca ekolojik malzemeye dayanmaktadır. Bu ürünlerin çoğunu su oluşturur: Kuvars sıvanın %23'ünden, kum taşı üst yüzey nerede ise %25, astarın nerede ise %30'u ve %40'ı renkli astar fazlasıdır. Bu ürünler için ambalajlar (5 gal) kovalar olarak modelde yer almıştır [30].

6.3.4. Üretim

Enerji Gereksinimleri ve Emisyonlar; Dryvit tesislerinde enerji kullanımı, sistem bileşenlerini büyük kaplarda harmanlamak ve 18,9 litrelik (5 galon) kovalara paketlemek için elektrik enerjisi önceliklidir. Rhode Island'da üretilen her bir ürün için elektrik miktarı Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Dryvit dış yalıtımı ve dış yalıtımı ilave malzemelerini karıştırmak için enerji gereksinimleri.

Dış yalıtım ürünleri	KWh/lb (kWh/0,45 kg)	KWh/ ft² (kWh/30,5x30,5 cm)
Astar kaplama	7.47 E-4	4.21 E-4
Kuars siva	6.26 E-4	3.45 E-4
Son kat kaplama	1.28 E-3	2.86 E-4
Toplam	2.65 E-3	1.05 E-3

Dış yalıtımı MD için elektrik verilerini ayrıştırarak hiçbir veri mevcut değildi veya Ontario tesisinde harmanlanan Dış yalıtımı ilave bileşenleri, yani ortalama orada kullanılan enerji: ürünün 1 paund (libre) ağırlığı (0,45 kg) başına 5,6 E-4 kWh veya 1 foot kare (30,5x30,5 cm) başına 7,1 E-4 kWh idi. Elektrik üretimi yakıtları ve yükleri, ABD LCI veri tabanından alınır. LCA veri tabanı bir Kanada elektrik şebekesini kullanır. Karıştırma sırasında salınan herhangi bir ince malzeme partikülü bir toz toplama sistemi tarafından yakalanır, bu nedenle hiçbir partikül veya diğer emisyonun serbest bırakılmadığı kabul edilir. Üretim atığı oluşmaz [30].

6.3.5. Taşıma

Ürün bileşenlerinin dizel kamyon ile nakliye mesafeleri, Warwick, RI'ye olan mesafeler ince malzeme-dolgu maddeleri için 1770 km (1100 mil) ve agrega için 1086 km ve solvent-çözücü için 80 km'ye kadar değişmektedir. Dış yalıtım MD ve Dış yalıtım ilave malzemeleri (Kanada) için agrega hariç tüm malzemeler Stouffville Ontario'ya 26 km (16 mil) mesafeye taşınır. Agregalar 363 km (227 mil) uzağa Stouffville, Ontario'ya taşınır. Dış yalıtım (ABD'de) ürünleri, dizel kamyonla şantiyeye ortalama 402 km (250 mil) taşınacak şekilde modellenmiştir. Kanada ürünleri hem dizel kamyon (ortalama 143 km veya 89 mil) hem de demiryolu (ortalama 3444 km veya 2150 mil) ile taşınır. Kamyon ve demiryolu ile taşınan miktar (sırasıyla %84 ve %16) çarpanlarına ayrıldığında, taşınan ağırlıklı ortalama 721 km'ye (450 mil) gelir. Bu sayılar, müşteri taşıma kayıtlarına dayanmaktadır. EPS ve fiberglas hasırın dizel kamyonla 400 km (250 mil) şantiyeye taşınacağı varsayılmıştır [30]. Çalışmamızda taşıma mesafesi Düzce şartlarına göre değiştirilerek kullanılmıştır.

6.3.6. Kurulum-Yapım

Dryvit'in yukarıda açıklanan bileşenleri artı EPS ve cam elyaf Dış yalıtım, Dış yalıtım ilave malzemeleri ve Dış yalıtım MD ürünlerini üretebilmek için binalarda birlikte yapılırlar. Bu malzemeler Çizelge 6.9'da belirtilmiştir.

Çizelge 6.9. Dryvit EIFS bileşenleri.

Bileşenler	9 m ² (100 ft ²) EIFS başına miktar		
	Dış Yalıtımı	İlave Dış Yalıtım	Dış Yalıtımı MD
EPS	5,67 kg (12.5 lb)	5,67 kg (12.5 lb)	5,67 kg (12.5 lb)
Fiberglas Ağ	1,35 kg (2.98 lb)	1,35 kg (2.98 lb)	1,35 kg (2.98 lb)
Astar	25,0 kg (55.1 lb)	25,0 kg (55.1 lb)	25,0 kg (55.1 lb)
Kuvars kumu	24,43 kg (53.85 lb)	24,43 kg (53.85 lb)	
Stoplama mekanizması		9,89 kg (21.8 lb)	9,89 kg (21.8 lb)
Parlama-Su yansıması			0,302 kg (0.665 lb)
Astar (Renk astarı)			1,5 kg (3.33 lb)
Yüzey kaplama (Kumtaşı)			24,43 kg (53,85 lb)

EPS, Dryvit ve ASTM Uluslararası tarafından oluşturulan bir spesifikasyona göre lisanslı EPS kalıpcıları tarafından üretilir. Fiberglas ağ ayrıca Dryvit spesifikasyonu ve ASTM Uluslararası standardına göre üretilir. Dryvit alt tabakalar hava bariyerleri ve cilalar şantiyede eğitimli sıvacılar tarafından kullanılır. EIFS kaplama uygulama süreci duvarlar inşa edilip ve mantolamaya başlanınca yapılır. EPS, yapıştırıcı olarak Astar ile kaplanır ve daha sonra sahada bir alt tabaka için tekrar astar ile kaplamak için uygulanır. Şantiyede Astar eşit miktarda çimento ile karıştırılır. Fiberglas ağ daha sonra alt tabaka (taban kat) içine gömülür. 24 saatlik kuruma süresinin ardından dokulu yüzey, kuvars kumu veya Kum taşı son kat olarak yerleştirilir. İlave dış yalıtımı kurulumu eklenen hava ve nem bariyeri katmanı için arka tarafta durdurucu bir katman görevi görür. Dış yalıtımı MD astar ve parlayan (yanıp sönen) bir katman içerir. Mantolama sırasında, hava koşullarına dayanıklı bariyerler ve dış duvar sistemini tamamlamak için diğer yardımcı malzemeler gereklidir, bunlar BEES dış cephe kaplamalarında malzeme sistem sınırlarına dahil değildir. EPS reçinesi ve köpük izolasyonu için şişirici maddelere ilişkin veriler, endüstri ortalama birincil verilerine dayanmaktadır ve ABD için LCI veri tabanından gelmektedir. Fiberglas ecoinvent'e veriye dayanmaktadır. BEES sistemi için bu ürünler ana ürünün bir parçası olarak kabul edildikleri için hammadde alımına dahildir. Portland çimentosu (Astar ile karıştırılmış) ürün modelinin kullanım aşamasına dahildir. Portland çimentosu verileri, PCA'nın ABD endüstri ortalaması verilerinden gelmektedir (PCA, 2016a). Üreticiye göre kurulum atığı %1 ila %5 arasında olabilir; bu atık BEES için %2 düzenli depolama olarak modellenmiştir [30], [126].

6.3.7. Kullanım

Dryvit ürünlerinin faydalı ömürlerinin en az 60 yıl olduğu varsayılmaktadır. Herhangi bir bakım veya ömür boyu temizlik gerekirse manuel olarak ve nispeten az malzeme ile yapılır. Bakım, sıklık ve dereceye göre mal sahibinden mal sahibine değişebileceğinden, temsili veriler olmadığı için modele dahil edilmemiştir [30].

6.3.8. Yaşam Sonu

Bina ömrünün sonunda bu dış cephe kaplama ürünlerinin bir inşaat & döküm sahasına gönderildiği varsayılır. Kullanım ömrü sonu modellenmesi, bunların yaklaşık 48 km (30 mil) mesafeye büyük dizel yakıtlı kamyonla taşınmasını ve döküm sahasındaki malzemelerin ilave etkilerini içerir. Kamyon taşımacılığı ABD LCI veri tabanı ve atık döküm sahasına bağlı olarak ekolojik kullanım ömrü sonu atık yönetimi süreç verilerine dayalı olarak modellenmiştir [30].

7. BEES İLE DIŞ DUVAR YAŞAM DÖNGÜ ANALİZİ

BEES ile dış duvar yaşam döngü analizinde, dış sıva (yalıtımlı dış cephe kaplaması), tuğla&harç ve iç sıva, 60 yıllık servis ömrü için modellenmiştir. Düzgün bir şekilde yerleştirilmiş dış cephe duvarının kullanım ömrü 100 yıl kabul edilmektedir. Bakım, hava koşullarına göre büyük ölçüde değişebilir, ancak genellikle minimumdur. Çatlak onarımları manuel olarak yapılır. Diğer bakımlar BEES modelinin sınırları dâhilinde değildir. Çevresel etki kategorilerinin çevre üzerinde ki etkileri için ağırlıklandırılmış puanlandırma kullanılmakta olup aşağıda gösterilmiştir. Buna göre;

• Ozon İncelme Potansiyeli (Ozone Depletion)	: 5
• Su Kullanımı (Water Use)	: 3
• Arazi Kullanımı (Land Use)	: 18
• İç Hava Kalitesi (IAQ)	: 0
• Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenemeyen (Primary Energy Demand-Non-Renewable)	: 7
• Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenebilir (Primary Energy Demand-Renewable)	: 0
• Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential)	: 18
• Duman Oluşumu (Smog)	: 7
• Asitleşme (Acidification)	: 5
• Ötrifikasyon (Eutrophication)	: 5
• Kanserojenler (Carcinogenics)	: 8
• Kanserojen Olmayanlar (Non Carcinogenics)	: 5
• Solunum Etkileri (Respiratory Effects)	: 7
• Ekotoksosite (Ecotoxicity)	: 12
Toplam	:100

BEES ile incelenen dış duvar kesitinde 60 yıllık süre için ürün kategorilerinin (YDED) Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesinde kullanılan etki kategorileri birim değerler için alt başlıklar halinde verilmiştir [43].

7.1. TUĞLA DUVAR İÇİN YDED KATEGORİLERİ VE YAŞAM DÖNGÜ MALİYETİNİN İNCELENMESİ

BEES ile incelenen dış duvar kesitinde 60 yıllık süre için ürün kategorilerinin YDED’nde kullanılan etki kategorileri olan “Ozon incelme potansiyeli, Su kullanımı, Arazi kullanımı, Birincil enerji tüketimi-yenilenemez, Birincil enerji tüketimi-yenilenebilir,

Küresel ısınma potansiyeli, Duman oluşumu potansiyeli, Asitleşme potansiyeli, Ötrofikasyon potansiyeli, Kansorejenler, Kansorejen olmayanlar, Solunum etkileri ve Ekotoksisite etkileri” ham madde, üretim, yükleme taşıma, kurulum, yaşam sonu ve toplam yaşam döngü maliyeti olarak birim değerler bazında Tuğla Duvar, Sıva ve Dış cephe yalıtımı için hesaplanmış olup sonuçlar Çizelge ve Grafikler halinde gösterilmiştir.

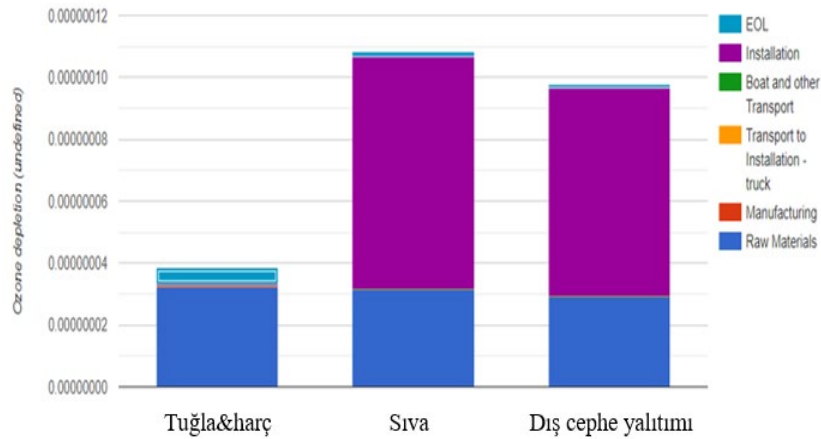
7.1.1. Ozon İncelme Potansiyeli (kg CFC)

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “ozon incelme potansiyelinin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Tuğla dış duvarın ozon incelme potansiyelinin birim maliyetleri.

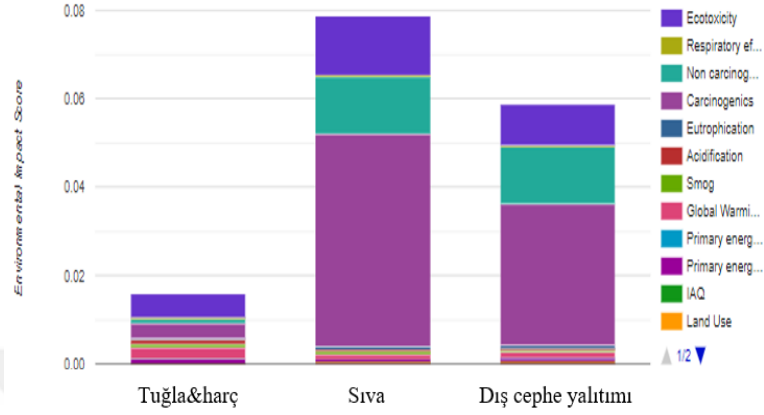
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	4,30E-07	3,52E-08	3,46E-08
Üretim	6,21E-09	0,00E+00	0,00E+00
Yükleme Taşıma- Kamyon	2,35E-10	1,14E-11	7,62E-12
Kurulum	4,62E-09	8,34E-08	7,97E-08
Yaşam Sonu	7,29E-08	1,78E-09	1,19E-09
Toplam	5,13E-07	1,20E-07	1,15E-07

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının Yaşam Döngü Etki Kategorilerinin (YDEK) birim değerleri için “ozon incelme potansiyellerinin” oransal değerleri Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Tuğla dış duvarın YDEK’nin ozon incelme potansiyelleri oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için “Ozon İncelme Potansiyelinin” Çevresel Etki Kategorilerinin (ÇEK) oransal değerleri Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Tuğla dış duvarın ozon incelme potansiyelinin ÇEK oransal dağılımı.

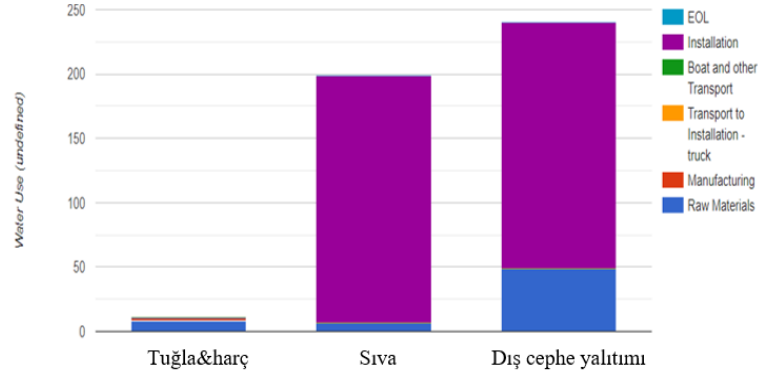
7.1.2. Su Kullanımı (Litre)

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “su kullanımının” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Tuğla dış duvarın su kullanımı birim maliyetleri.

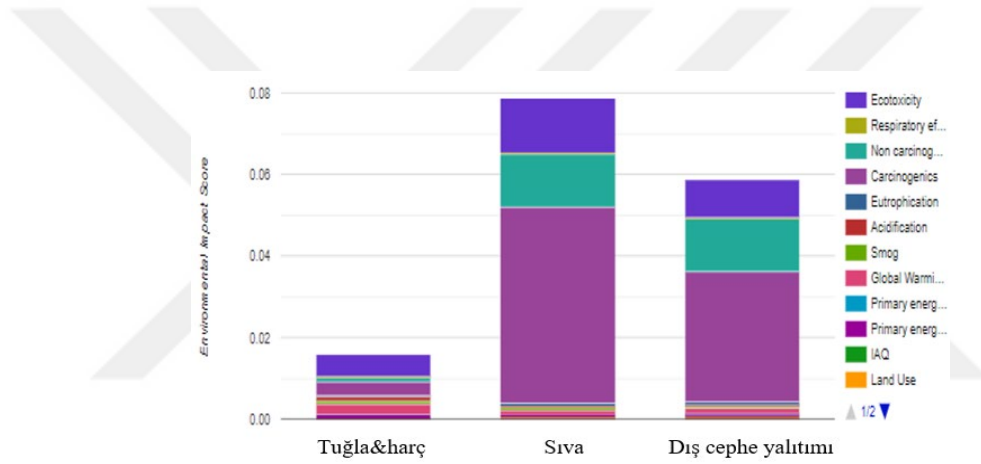
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	1,12E+02	7,19E+00	5,78E+01
Üretim	2,55E+01	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Kurulum	1,17E-01	2,13E+02	2,25E+02
Yaşam Sonu	1,85E+00	4,50E-02	3,03E-02
Toplam	1,40E+02	2,21E+02	2,83E+02

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının YDEK’nin birim değerleri için “su kullanımının” oransal Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Tuğla dış duvarın YDEK'nin su kullanımı oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için “Su Kullanımının” ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.4'de gösterilmiştir.



Şekil 7.4. Tuğla dış duvarın su kullanımı ÇEK oransal değerleri.

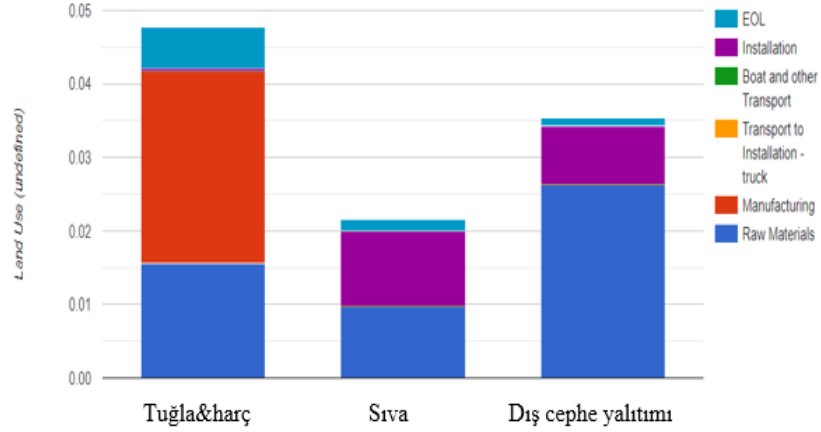
7.1.3. Arazi Kullanımı (m²)

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “arazi kullanımının” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.3'de verilmiştir (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3. Tuğla dış duvarın arazi kullanımı birim maliyetleri.

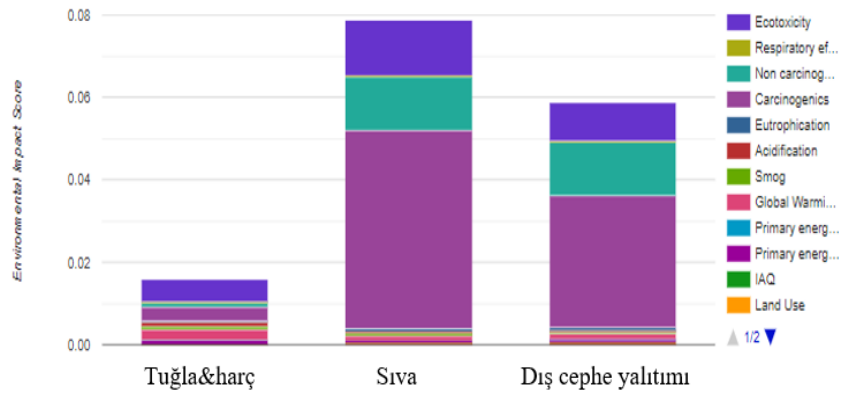
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	2,07E-01	1,09E-02	3,09E-02
Üretim	3,47E-01	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Kurulum	4,73E-03	1,12E-02	9,51E-03
Yaşam Sonu	7,47E-02	1,82E-03	1,23E-03
Toplam	6,34E-01	2,40E-02	4,17E-02

Yaşam döngü etki kategorilerinin tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının “arazi kullanımının” oransal değerleri Şekil 7.5’de gösterilmiştir.



Şekil 7.5. Tuğla dış duvarın YDEK’nin arazi kullanımı oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için “Arazi Kullanımının” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.6’de gösterilmiştir.



Şekil 7.6. Tuğla dış duvarın arazi kullanımı ÇEK oransal değerleri.

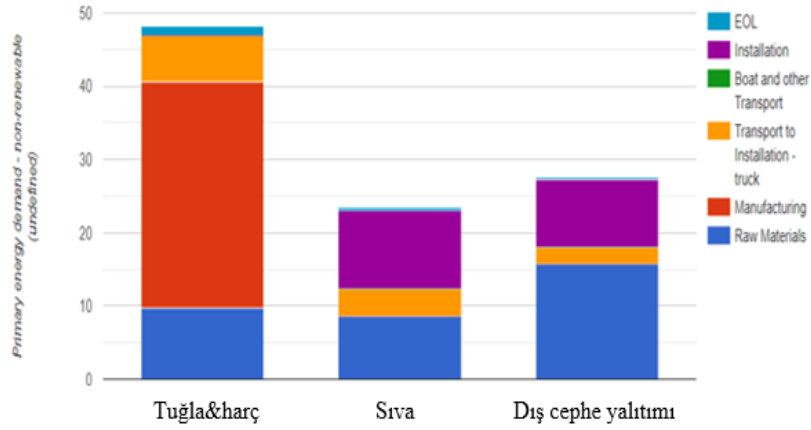
7.1.4. Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenemeyen (Megajule, MJ)

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.4’de verilmiştir.

Çizelge 7.4. Tuğla dış duvarın yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin birim maliyetleri.

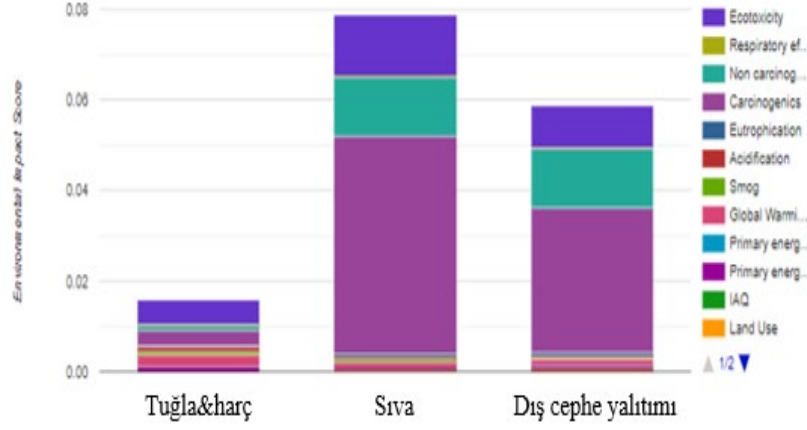
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	1,29E+02	9,53E+00	1,85E+01
Üretim	4,11E+02	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	2,27E+01	4,08E+00	2,73E+00
Kurulum	1,08E+00	1,20E+01	1,10E+01
Yaşam Sonu	1,72E+01	4,16E-01	2,81E-01
Toplam	5,80E+02	2,23E+01	3,00E+01

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının YDEK'nin birim değerleri için “yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin” oransal değerleri Şekil 7.7’de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. Tuğla dış duvarın YDEK'nin yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için “yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin” ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.8’de gösterilmiştir.



Şekil 7.8. Tuğla dış duvarın yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin ÇEK oransal değerleri.

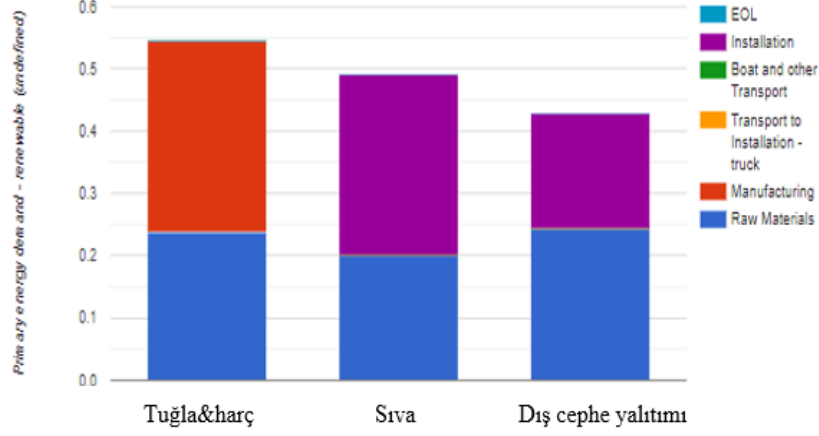
7.1.5. Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenebilir (Megajule, MJ)

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “yenilenebilir birincil enerji tüketiminin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.5’de verilmiştir.

Çizelge 7.5. Tuğla dış duvarın yenilenebilir birincil enerji tüketiminin birim maliyetleri.

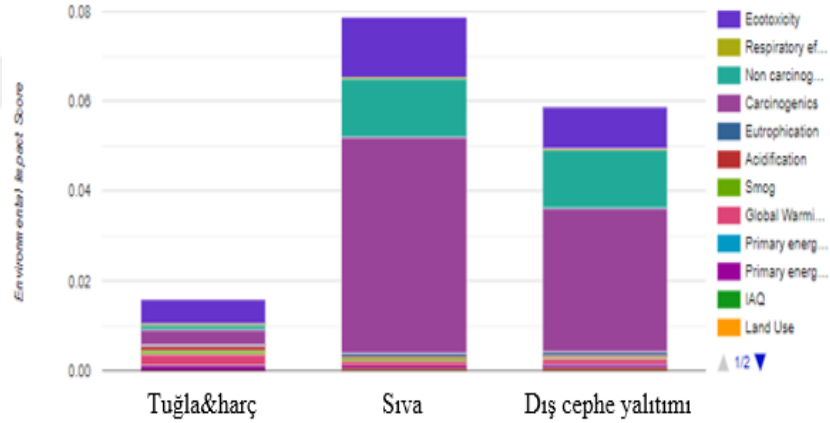
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	2,38E-1	2,01E-01	2,43E-1
Üretim	3,06E-1	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Kurulum	9,46E-5	2,89E-1	1,84E-1
Yaşam Sonu	1,49E-3	4,36E-4	2,76E-4
Toplam	5,45E-1	4,91E-1	4,28E-1

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının YDEK’nin birim değerleri için “yenilenebilir birincil enerji tüketiminin” oransal değerleri Şekil 7.9’de gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Tuğla dış duvarın YDEK'nin yenilenebilir birincil enerji tüketiminin oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için “Yenilenebilir birincil enerji tüketiminin” ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.10. Tuğla dış duvarın yenilenebilir birincil enerji tüketiminin ÇEK oransal değerleri.

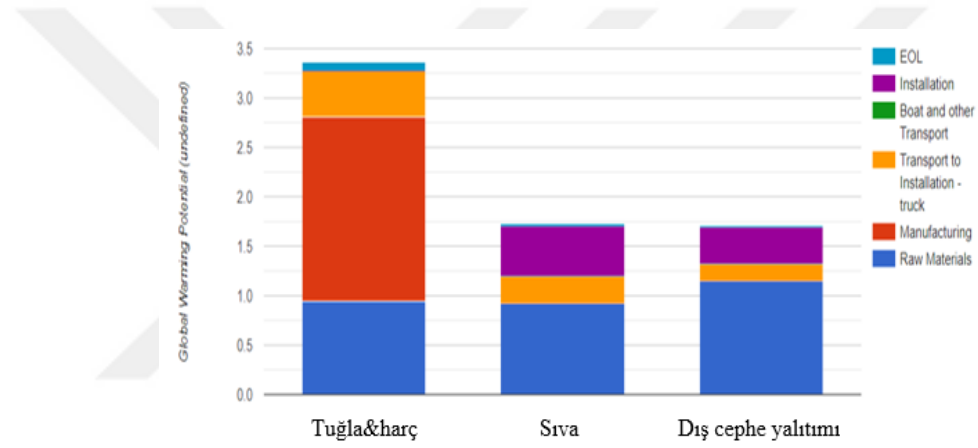
7.1.6. Küresel Isınma Potansiyeli GWP (kg, CO₂)

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “küresel ısınma potansiyelinin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.6'de verilmiştir.

Çizelge 7.6. Tuğla dış duvarın küresel ısınma potansiyelinin birim maliyetleri.

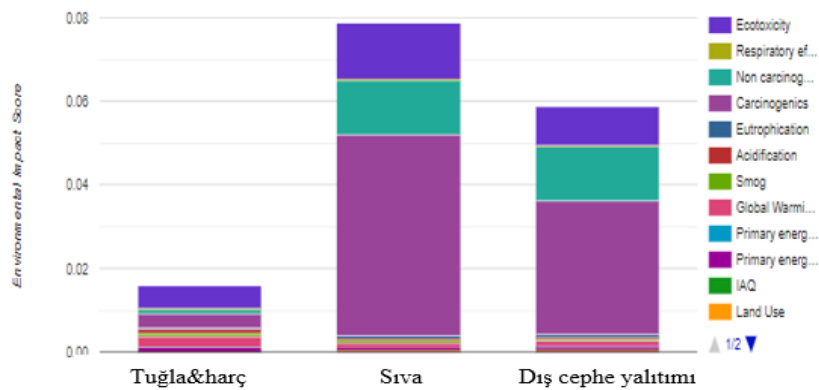
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	1,26E+01	1,02E+00	1,36E+00
Üretim	2,47E+01	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	1,68E+00	3,01E-02	2,01E-02
Kurulum	7,69E-02	5,66E-01	4,43E-01
Yaşam Sonu	1,22E+00	2,95E-02	1,99E-02
Toplam	4,03E+01	1,65E+00	1,84E+00

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının YDEK'nin birim değerleri için "küresel ısınma potansiyelinin" oransal değerleri Şekil 7.11'de gösterilmiştir.



Şekil 7.11. Tuğla dış duvarın YDEK'nin küresel ısınma potansiyelinin oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için "Küresel Isınma Potansiyelinin" ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.12'de gösterilmiştir.



Şekil 7.12. Tuğla dış duvarın küresel ısınma potansiyelinin ÇEK oransal değerleri.

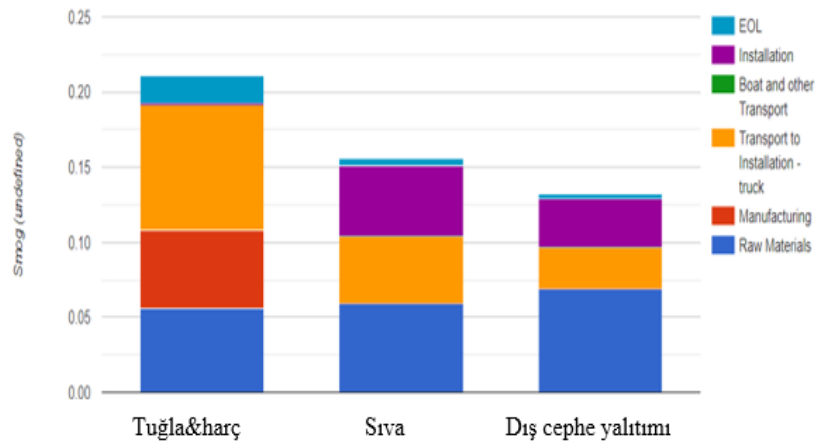
7.1.7. Duman Oluşumu (kg, O₃)

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “duman oluşumunun” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.7’de verilmiştir.

Çizelge 7.7. Tuğla dış duvarın duman oluşumunun birim maliyetleri.

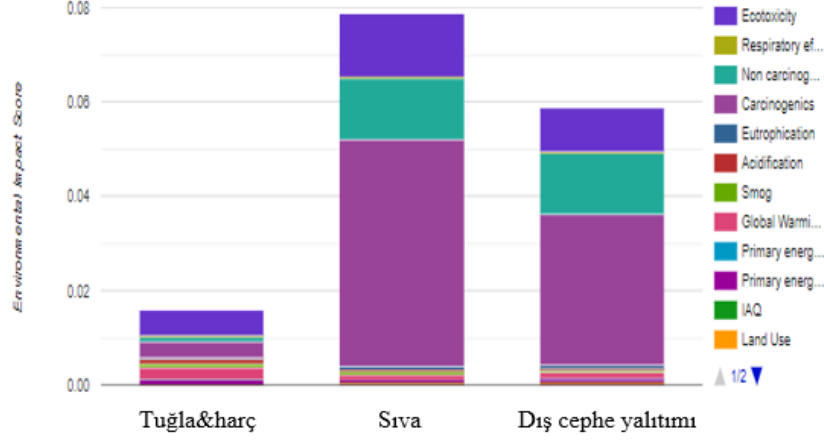
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	7,42E-01	6,62E-02	8,14E-02
Üretim	6,96E-01	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	2,99E-01	4,90E-02	3,27E-02
Kurulum	1,57E-02	5,21E-02	3,84E-02
Yaşam Sonu	2,49E-01	6,04E-03	4,07E-03
Toplam	2,00E+00	1,29E-01	1,27E-01

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının YDEK’nin birim değerleri için “duman oluşumunu” oransal değerleri Şekil 7.13’de gösterilmiştir.



Şekil 7.13. Tuğla dış duvarın YDEK’nin duman oluşumunun oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için “Küresel Isınma Potansiyelinin” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.14’de gösterilmiştir.



Şekil 7.14. Tuğla dış duvarın duman oluşumunun ÇEK oransal değerleri.

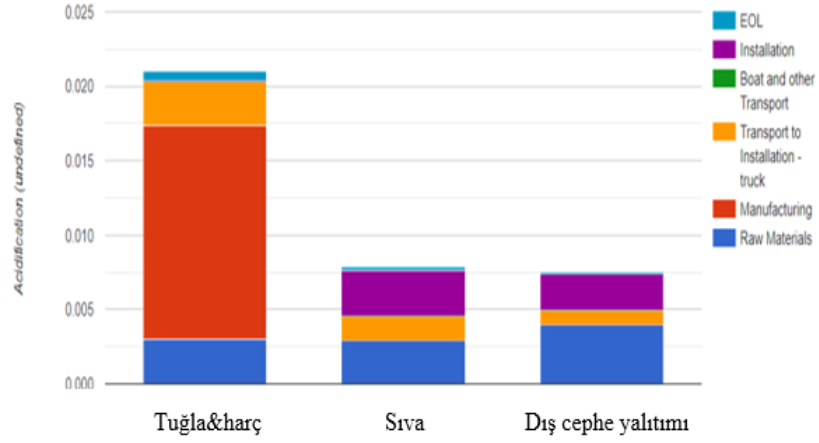
7.1.8. Asitleşme Potansiyeli (kg, SO₂)

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “asitleşme potansiyelinin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.8’de verilmiştir.

Çizelge 7.8. Tuğla dış duvarın asitleşme potansiyelinin birim maliyetleri.

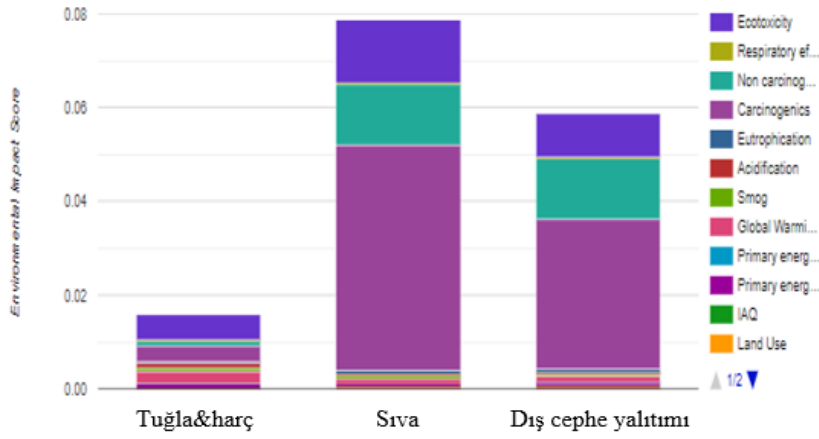
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	4,04E-02	3,24E-03	4,67E-03
Üretim	1,90E-01	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	1,07E-02	1,79E-03	1,19E-03
Kurulum	5,52E-04	3,47E-03	2,83E-03
Yaşam Sonu	8,72E-03	2,12E-04	1,43E-04
Toplam	2,50E-01	7,11E-03	7,78E-03

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının YDEK’nin birim değerleri için “asitleşme potansiyelinin” oransal değerleri Şekil 7.15’de gösterilmiştir.



Şekil 7.15. Tuğla dış duvarın YDEK'nin asitleşme potansiyelinin oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için “Asitleşme Potansiyelinin” ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.16'da gösterilmiştir.



Şekil 7.16. Tuğla dış duvarın asitleşme potansiyelinin ÇEK oransal dağılımı.

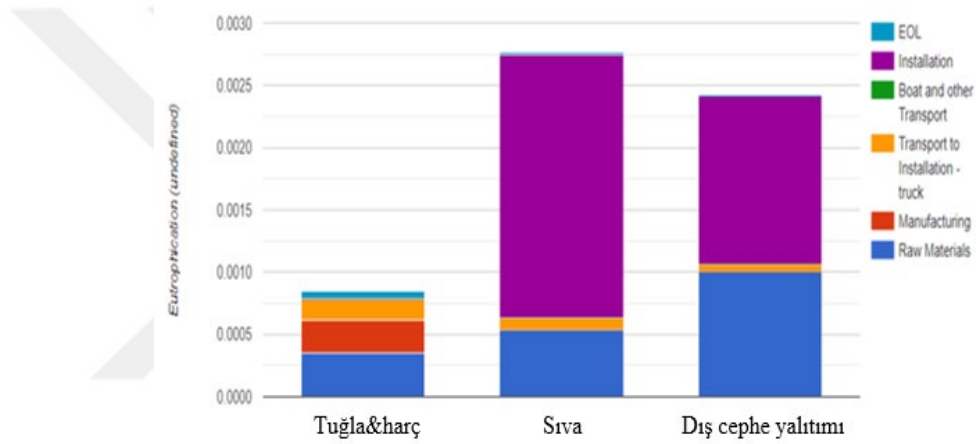
7.1.9. Ötrofikasyon (kg, N)

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “ötrofikasyonun” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.9'da verilmiştir [30], [132].

Çizelge 7.9. Tuğla dış duvarın ötrofikasyonun birim maliyetleri.

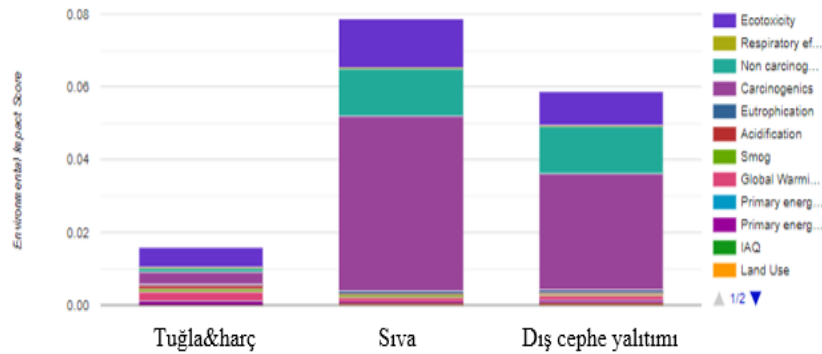
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	4,71E-03	5,98E-04	1,19E-03
Üretim	3,47E-03	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	6,04E-04	9,96E-05	6,66E-05
Kurulum	4,77E-05	2,35E-03	1,59E-03
Yaşam Sonu	7,55E-04	1,83E-05	1,24E-05
Toplam	9,59E-03	2,97E-03	2,80E-03

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının YDEK'nin birim değerleri için "ötrofikasyon" oransal değerleri Şekil 7.17'de gösterilmiştir.



Şekil 7.17. Tuğla dış duvarın YDEK'nin ötrofikasyonun oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için "Ötrofikasyonun" ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.18'de gösterilmiştir.



Şekil 7.18. Tuğla dış duvarın ötrofikasyonun ÇEK oransal dağılımı.

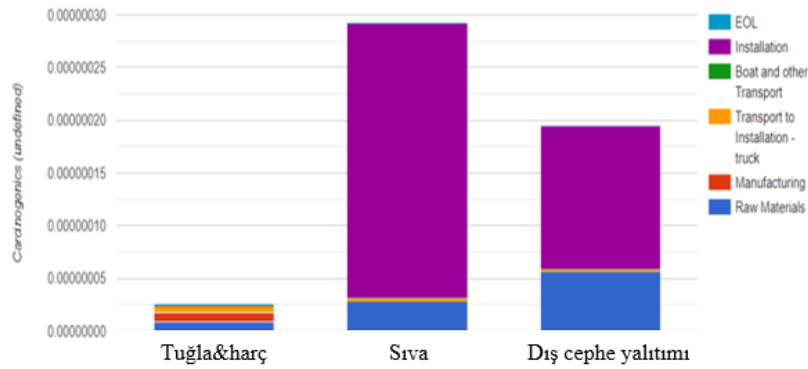
7.1.10. Kansorejenler

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “kansorejenler” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.10’da verilmiştir.

Çizelge 7.10. Tuğla dış duvarın kansorejenlerin birim maliyetleri.

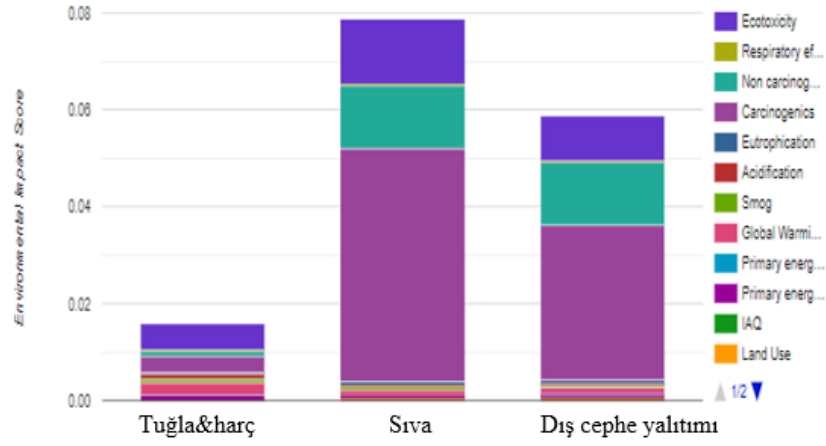
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	1,18E-07	3,10E-08	6,64E-08
Üretim	1,16E-07	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	2,29E-08	4,10E-09	2,74E-09
Kurulum	1,46E-09	2,89E-07	1,60E-07
Yaşam Sonu	2,31E-08	5,64E-10	3,80E-10
Toplam	2,81E-07	3,21E-07	2,28E-07

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının YDEK’nin birim değerleri için “kansorejenlerin” oransal değerleri Şekil 7.19’da gösterilmiştir.



Şekil 7.19. Tuğla dış duvarın YDEK’nin kansorejenlerin oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için “Kansorejenlerin” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.20’de gösterilmiştir.



Şekil 7.20. Tuğla dış duvarın kansorejenlerin ÇEK oransal dağılımı.

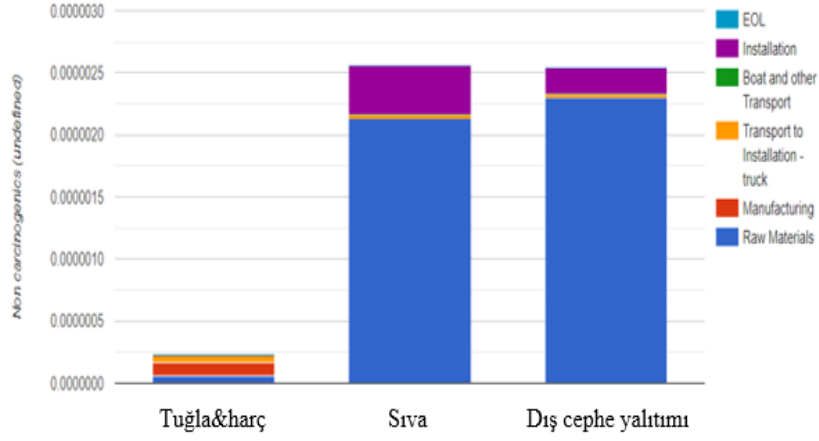
7.1.11. Kansorejen Olmayanlar

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “kansorejen olmayanların” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.11’de verilmiştir.

Çizelge 7.11. Tuğla dış duvarın kansorejen olmayanların birim maliyetleri.

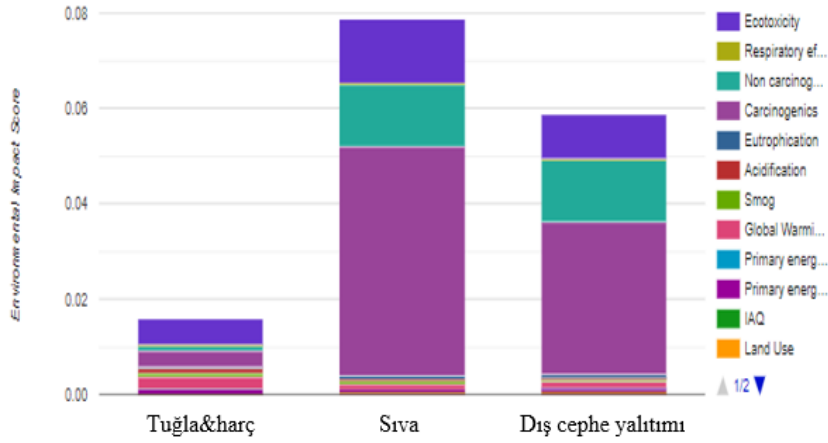
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	7,82E-07	2,36E-06	2,71E-06
Üretim	1,36E-06	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	2,19E-07	3,95E-09	2,64E-09
Kurulum	7,58E-09	4,34E-07	2,56E-07
Yaşam Sonu	1,20E-07	2,91E-09	1,96E-09
Toplam	2,49E-06	2,81E-06	2,97E-06

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının YDEK’nin birim değerleri için “kansorejen olmayanların” oransal değerleri Şekil 7.21’de gösterilmiştir.



Şekil 7.21. Tuğla dış duvarın YDEK'nin kansorejen olmayanların oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için “Kansorejen olmayanların” ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.22'de gösterilmiştir.



Şekil 7.22. Tuğla dış duvarın kansorejen olmayanların ÇEK'nin oransal dağılımı.

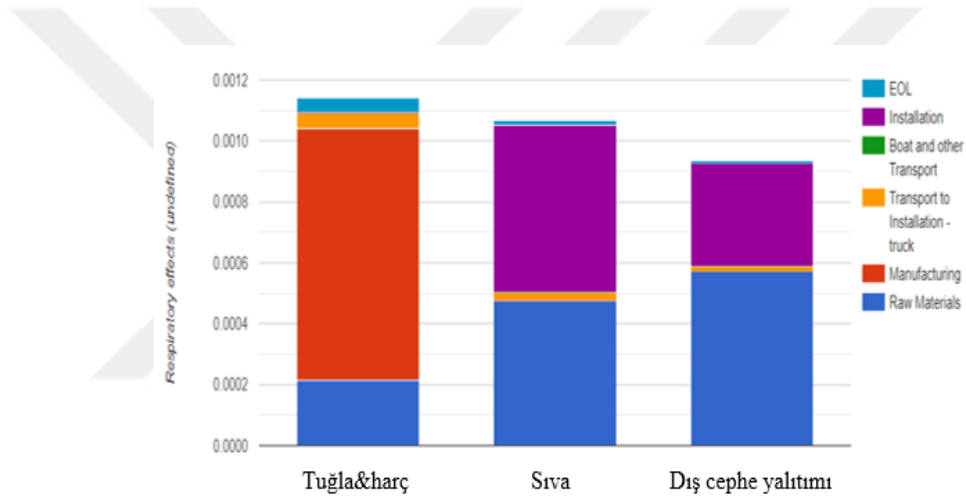
7.1.12. Solunum Etkileri (kg PM_{2,5})

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “solunum etkilerinin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.12'de verilmiştir.

Çizelge 7.12. Tuğla dış duvarın solunum etkilerinin birim maliyetleri.

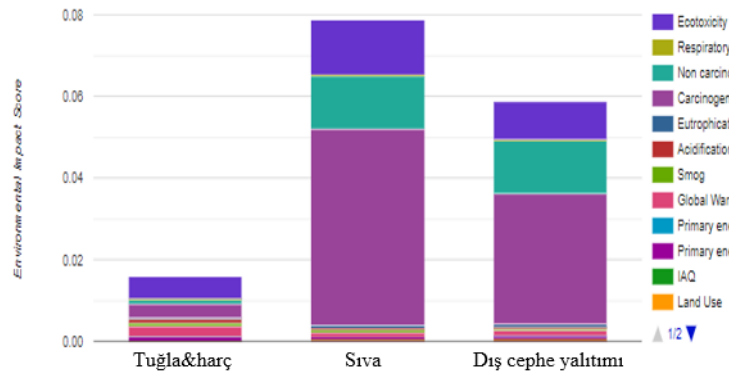
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	2,85E-03	5,28E-04	6,75E-04
Üretim	1,10E-02	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	1,88E-04	3,11E-06	2,08E-06
Kurulum	3,96E-05	6,09E-04	3,98E-04
Yaşam Sonu	6,25E-04	1,52E-05	1,02E-05
Toplam	1,46E-02	1,15E-03	1,08E-03

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının YDEK'nin birim değerleri için "solunum etkilerinin" oransal değerleri Şekil 7.23'de gösterilmiştir.



Şekil 7.23. Tuğla dış duvarın YDEK'nin solunum etkilerinin oransal değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için "Solunum etkilerinin" ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.24'de gösterilmiştir.



Şekil 7.24. Tuğla dış duvarın solunum etkilerinin ÇEK'nin oransal değerleri.

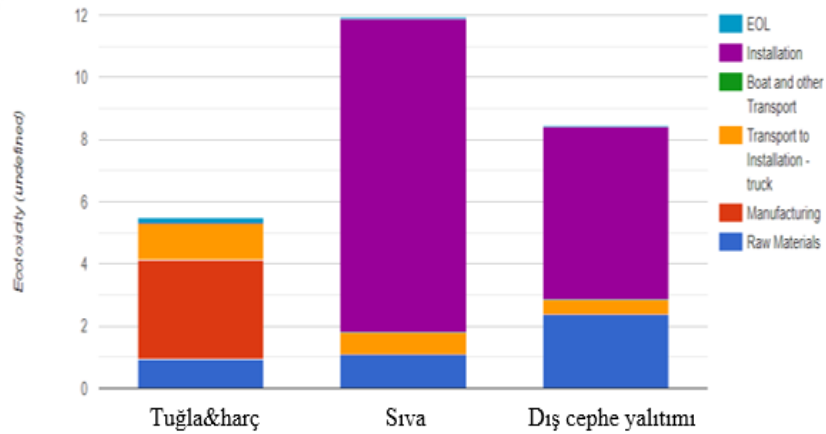
7.1.13. Ekolojik Toksikite

BEES ile incelenen tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “ekolojik toksisitenin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.13’de verilmiştir.

Çizelge 7.13. Tuğla dış duvarın ekolojik toksisitenin birim maliyetleri.

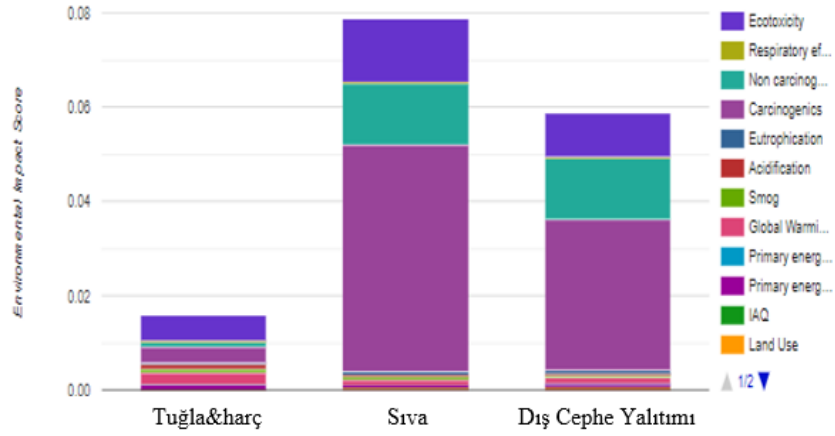
Aşama	Tuğla&Harç	Sıva	Dış Cephe Yalıtımı
Ham Madde	1,22E+01	1,22E+00	2,83E+00
Üretim	4,27E+01	0,00E+00	0,00E+00
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	4,26E+00	7,64E-02	5,10E-02
Kurulum	1,45E-01	1,12E+01	6,60E+00
Yaşam Sonu	2,29E+00	5,58E-02	3,76E-02
Toplam	6,16E+01	1,25E+01	9,51E+00

Yaşam döngü etki kategorilerinin tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının “ekolojik toksisitenin” oransal değerleri aşağıda Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



Şekil 7.25. Tuğla dış duvarın YDEK’nin ekolojik toksisitenin değerleri.

Tuğla dış duvar kesitinde tuğla&harç, sıva ve dış cephe yalıtımının birim değerleri için “Ekolojik toksisitenin” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.26’de gösterilmiştir.



Şekil 7.26. Tuğla dış duvarın ekolojik toksisitenin ÇEK oransal değerleri.

7.1.14. Tuğla Duvarın Yaşam Döngü Maliyeti

Tuğla duvar, sıva ve dış cephe için yaşam döngü maliyetleri, karbon maliyetleri ve toplam maliyetler çizelge halinde Çizelge 7.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.14. Tuğla duvar, sıva ve dış cephe yalıtımı için yaşam döngü maliyetleri.

Sonuçlar	Birim Maliyet (\$/birim)			Toplam Maliyet (Toplam \$)		
	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)
Tuğla duvar (20 cm)	5.00	0.04	5.04	20,666,710	165,334	20,832,044
Sıva (3,3cm)	5.00	0.02	5.02	30,720,785	122,883	30,843,668
Dış cephe yalıtımı (3 cm)	\$5.00	\$0.02	\$5.02	24,409,500	97,638	24,507,138
Toplam				75,796,995	385,855	76,182,850

7.2. BETON DUVAR, GAZ BETON DUVAR VE BİMS-BRİKET BETON DUVAR İÇİN YDED KATEGORİLERİ VE YAŞAM DÖNGÜ MALİYETLERİ

BEES ile incelenen beton, gaz beton, Bims&briket beton dış duvar kalınlıkları 20 cm olarak alınmış, BEES sisteminde beton dayanımı ise 4000 psi olarak yer almaktadır (1 psi=0.070306 kgf/cm², 4000 psi yaklaşık 281 kgf/cm²). 60 yıllık servis ömrü için ürün

katégorilerinin YDED’nde kullanılan etki kategorileri olan “Ozon inceleme potansiyeli, Su kullanımı, Arazi kullanımı, Birincil enerji tüketimi-yenilenemez, Birincil enerji tüketimi-yenilenebilir, Küresel ısınma potansiyeli, Duman oluşumu potansiyeli, Asitleşme potansiyeli, Ötrofikasyon potansiyeli, Kansorejenler, Kansorejen olmayanlar, Solunum etkileri ve Ekotoksosite etkileri” birim değerler için Ham madde, Üretim, Yükleme taşıma, Kurulum, Yaşam sonu, Çevresel etki önem ağırlıkları ve “Toplam yaşam döngü maliyetleri” olarak birim değerler bazında hesaplanmış olup sonuçlar Beton, gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarlar için ayrı ayrı çizelgeler halinde gösterilmiştir.

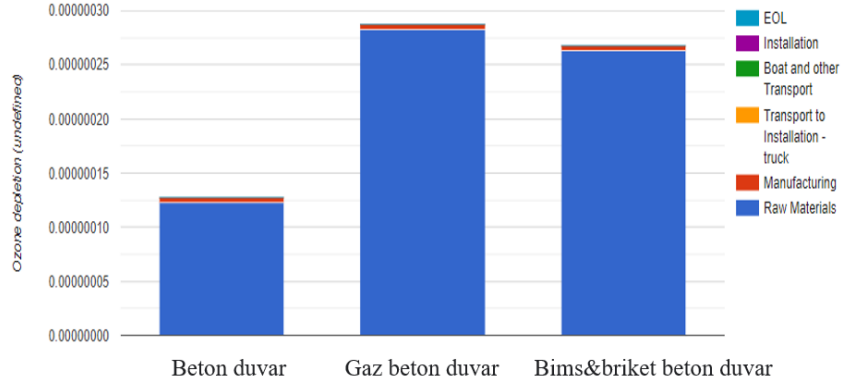
7.2.1. Ozon İnceleme Potansiyelleri (kg, CFC)

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan “ozon inceleme potansiyelinin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.15’de verilmiştir.

Çizelge 7.15. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ozon inceleme potansiyelinin birim maliyetleri.

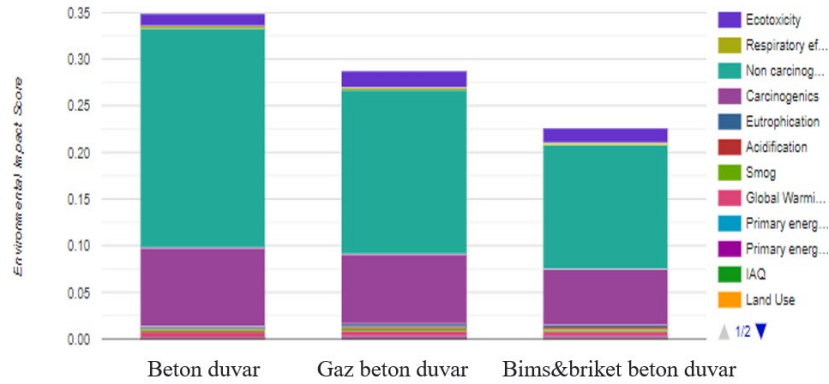
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	1.23e-7	2.83e-7	2.63e-7
Üretim	4.41e-9	4.41e-9	4.41e-9
Yükleme Taşıma- Kamyon	9.60e-12	8.36e-12	8.18e-12
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	1.22e-12	1.22e-12	1.22e-12
Toplam	1.27e-7	2.87e-7	2.67e-7

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “ozon inceleme potansiyellerinin” oransal değerleri Şekil 7.27’de gösterilmiştir.



Şekil 7.27. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin ozon incelme potansiyellerinin oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için "Ozon İncelme Potansiyelleri" ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.28'de gösterilmiştir.



Şekil 7.28. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ozon incelme potansiyelleri ÇEK oransal değerleri.

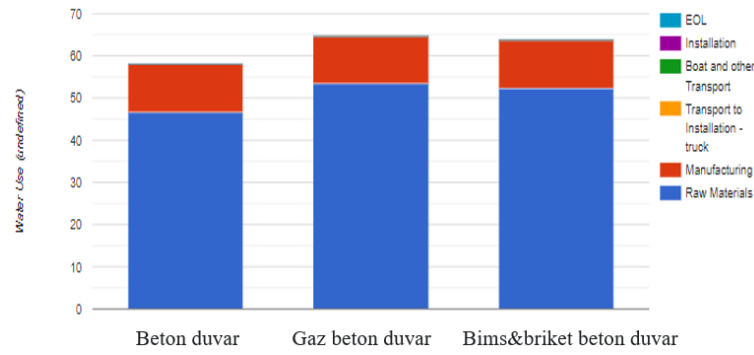
7.2.2. Su Kullanımı (Litre)

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan "su kullanımının" ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.16'de verilmiştir.

Çizelge 7.16. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın su kullanımının birim maliyetleri.

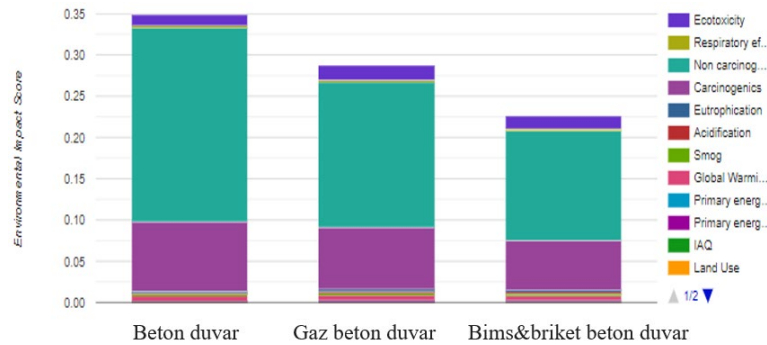
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	4.67e+1	5.34e+1	5.24e+1
Üretim	1.12e+1	1.12e+1	1.12e+1
Yükleme Taşıma- Kamyon	0.00e+0	0.00e+0	0.00e+0
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	0.00e+0	0.00e+0	0.00e+0
Toplam	5.79e+1	6.46e+1	6.35e+1

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “su kullanımının” oransal değerleri Şekil 7.29’de gösterilmiştir.



Şekil 7.29. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK’nin “su kullanımının” oransal değerleri

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “su kullanımının” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.30’de gösterilmiştir.



Şekil 7.30. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın su kullanımının ÇEK oransal değerleri.

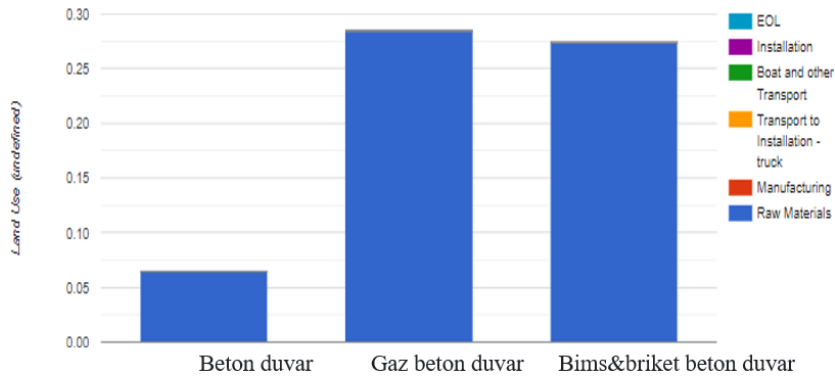
7.2.3. Arazi Kullanımı (m²)

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan “arazi kullanımının” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.17’de verilmiştir.

Çizelge 7.17. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın arazi kullanımının birim maliyetleri.

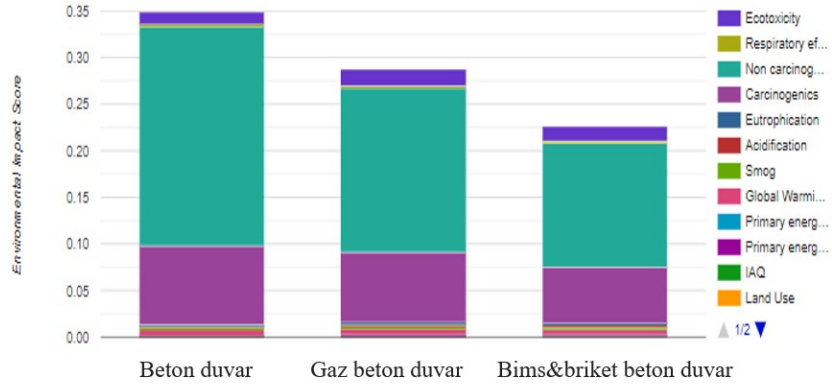
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	6.41e-2	2.84e-1	2.74e-1
Üretim	3.73e-4	3.73e-4	3.73e-4
Yükleme Taşıma- Kamyon	0.00e+0	0.00e+0	0.00e+0
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	0.00e+0	0.00e+0	0.00e+0
Toplam	6.45e-2	2.85e-1	2.74e-1

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “arazi kullanımının” oransal değerleri Şekil 7.31’de gösterilmiştir.



Şekil 7.31. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK’nin arazi kullanımının oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Arazi Kullanımının” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.32’de gösterilmiştir.



Şekil 7.32. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın arazi kullanımının ÇEK oransal değerleri.

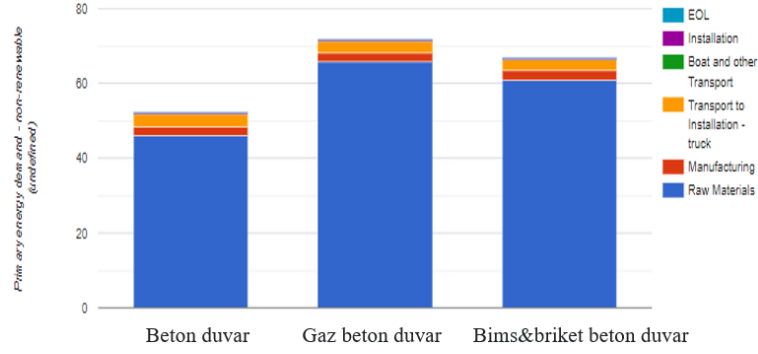
7.2.4. Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenemeyen (Megajule, MJ)

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan “yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.18’de verilmiştir.

Çizelge 7.18. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin birim maliyetleri.

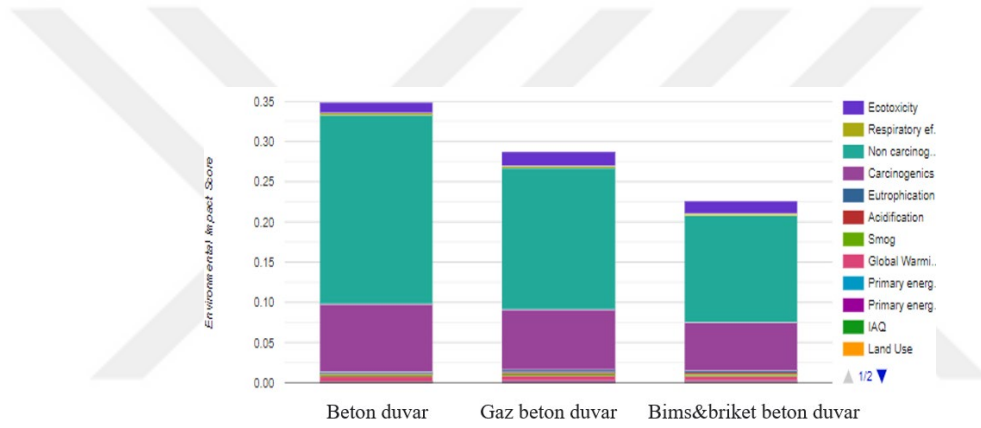
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	4.59e+1	6.57e+1	6.09e+1
Üretim	2.40e+0	2.40e+0	2.40e+0
Yükleme Taşıma- Kamyon	3.44e+0	2.99e+0	2.93e+0
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	4.36e-1	4.36e-1	4.36e-1
Toplam	5.21e+1	7.16e+1	6.67e+1

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin” oransal değerleri Şekil 7.33’de gösterilmiştir.



Şekil 7.33. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Yenilenemeyen Birincil Enerji Tüketiminin” ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.34'de gösterilmiştir.



Şekil 7.34. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın yenilenemeyen birincil enerji tüketiminin ÇEK Oransal Değerleri.

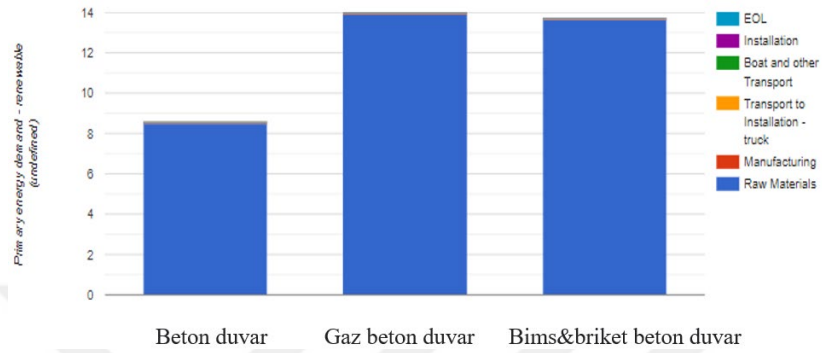
7.2.5. Birincil Enerji Tüketimi-Yenilenebilir (Megajule, MJ)

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan “yenilenebilir birincil enerji tüketiminin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.19'de verilmiştir.

Çizelge 7.19. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın yenilenebilir birincil enerji tüketiminin birim maliyetleri.

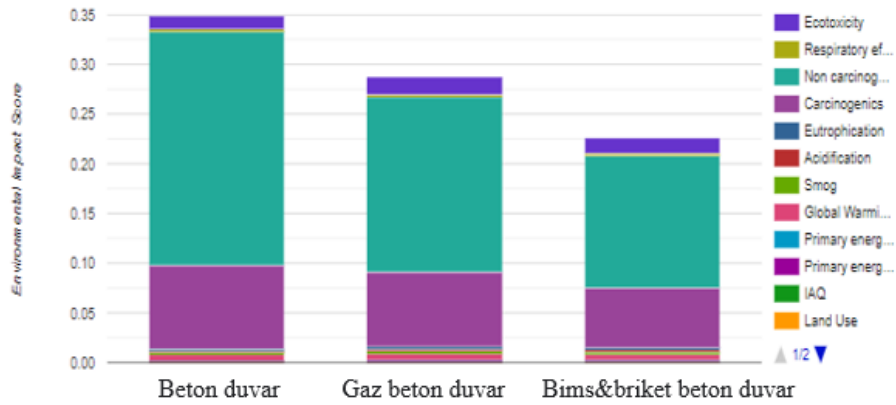
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	8.49e+0	1.39e+1	1.36e+1
Üretim	4.96e-2	4.96e-2	4.96e-2
Yükleme Taşıma- Kamyon	0.00e+0	0.00e+0	0.00e+0
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	0.00e+0	0.00e+0	0.00e+0
Toplam	8.54e+0	1.39e+1	1.37e+1

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “yenilenebilir birincil enerji tüketiminin” oransal değerleri Şekil 7.35’de gösterilmiştir.



Şekil 7.35. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin yenilenebilir birincil enerji tüketiminin oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Yenilenebilir Birincil Enerji Tüketiminin” ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.36’da gösterilmiştir.



Şekil 7.36. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın yenilenebilir birincil enerji tüketiminin ÇEK oransal dağılımı.

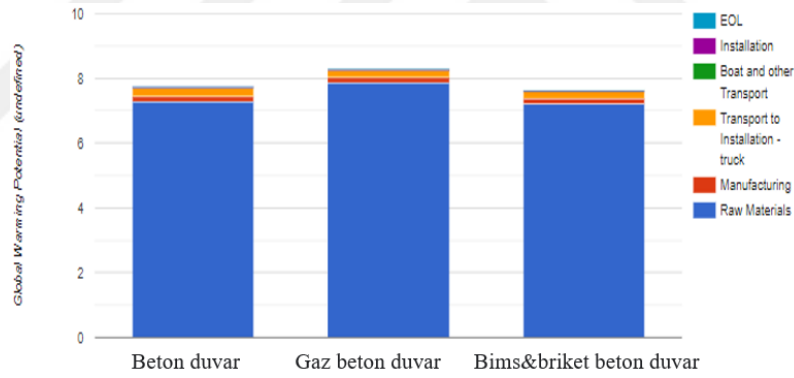
7.2.6. Küresel Isınma Potansiyeli GWP (kg, CO₂)

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan “küresel ısınma potansiyelinin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.20’de verilmiştir.

Çizelge 7.20. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın küresel ısınma potansiyelinin birim maliyetleri.

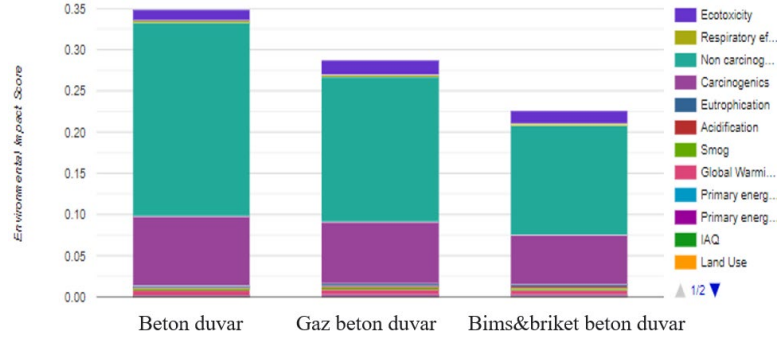
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	7.28e+0	7.86e+0	7.20e+0
Üretim	1.62e-1	1.62e-1	1.62e-1
Yükleme Taşıma- Kamyon	2.53e-1	2.20e-1	2.16e-1
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	2.99e-2	2.99e-2	2.99e-2
Toplam	7.73e+0	8.27e+0	7.61e+0

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “küresel ısınma potansiyelinin” oransal değerleri Şekil 7.37’de gösterilmiştir.



Şekil 7.37. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK’nin küresel ısınma potansiyelinin oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Küresel Isınma Potansiyelinin” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.38’de gösterilmiştir.



Şekil 7.38. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın küresel ısınma potansiyelinin ÇEK oransal değerleri.

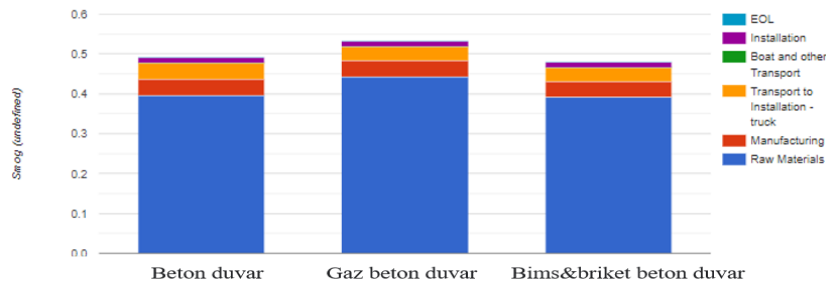
7.2.7. Duman Oluşumu (kg, O₃)

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan “duman oluşumunun” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.21’de verilmiştir.

Çizelge 7.21. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın duman oluşumunun birim maliyetleri.

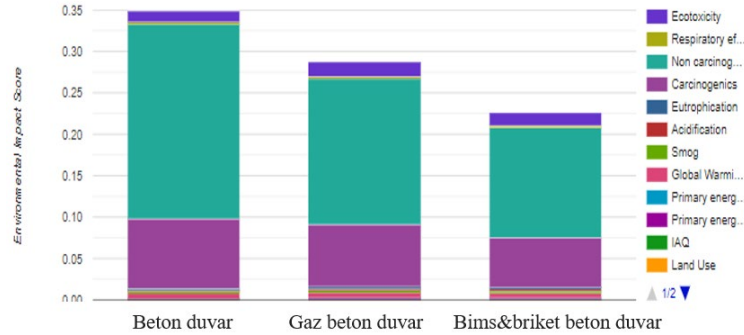
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	3.96e-1	4.42e-1	3.91e-1
Üretim	4.01e-2	4.01e-2	4.01e-2
Yükleme Taşıma- Kamyon	4.12e-2	3.58e-2	3.50e-2
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	1.30e-2	1.30e-2	1.30e-2
Toplam	4.91e-1	5.31e-1	4.79e-1

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “duman oluşumunun” oransal değerleri Şekil 7.39’de gösterilmiştir.



Şekil 7.39. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK’nin duman oluşumunun oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Duman Oluşumunun” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.40’de gösterilmiştir.



Şekil 7.40. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın duman oluşumunun ÇEK oransal değerleri.

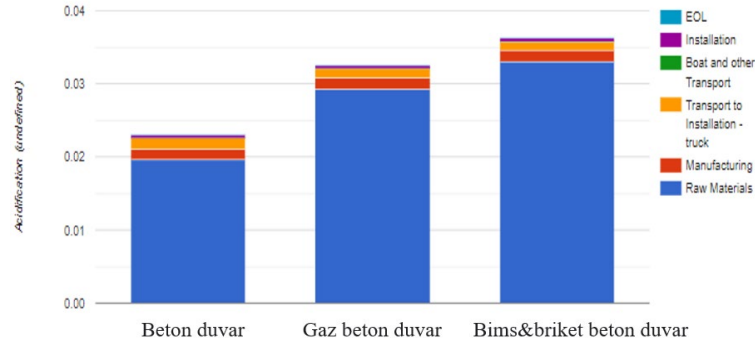
7.2.8. Asitleşme Potansiyeli (kg, SO₂)

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan “asitleşme potansiyelinin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.22’de verilmiştir.

Çizelge 7.22. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın asitleşme potansiyelinin birim maliyetleri.

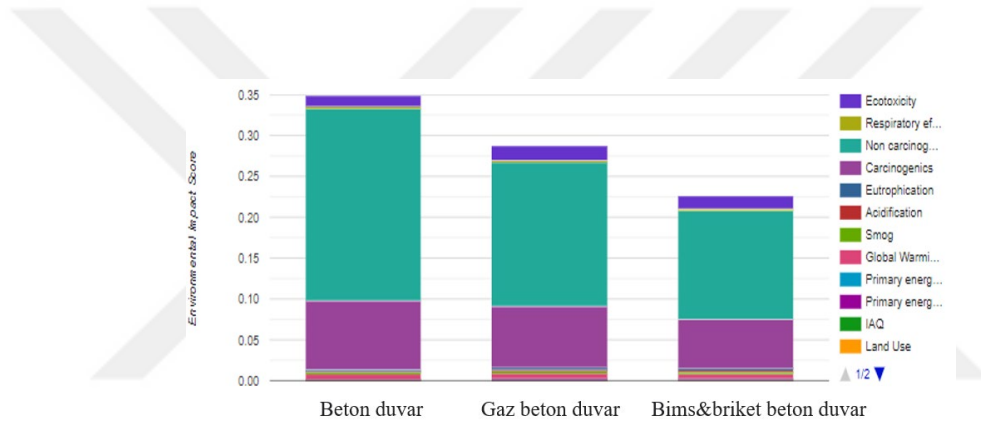
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	1.96e-2	2.92e-2	3.29e-2
Üretim	1.55e-3	1.55e-3	1.55e-3
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	1.50e-3	1.31e-3	1.28e-3
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	4.08e-4	4.08e-4	4.08e-4
Toplam	2.30e-2	3.25e-2	3.62e-2

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “asitleşme potansiyelinin” oransal değerleri Şekil 7.41’de gösterilmiştir.



Şekil 7.41. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDED asitleşme potansiyelinin oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Asitleşme Potansiyelinin” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.42’de gösterilmiştir.



Şekil 7.42. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın asitleşme potansiyelinin ÇEK oransal değerleri.

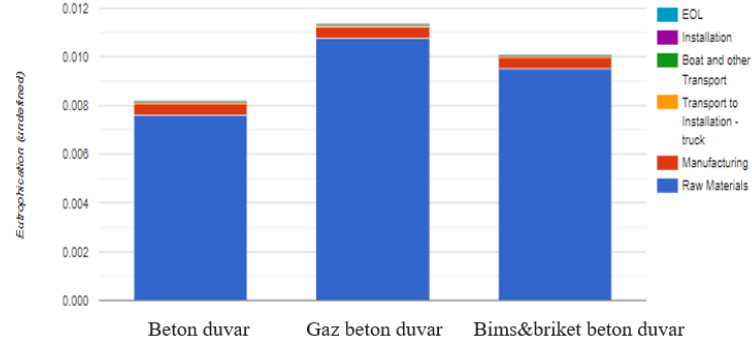
7.2.9. Ötrofikasyon (kg, N)

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için yaşam döngü etki değerlendirme kategorilerinden olan “ötrofikasyonun” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.23’de verilmiştir.

Çizelge 7.23. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ötrofikasyonun birim maliyetleri.

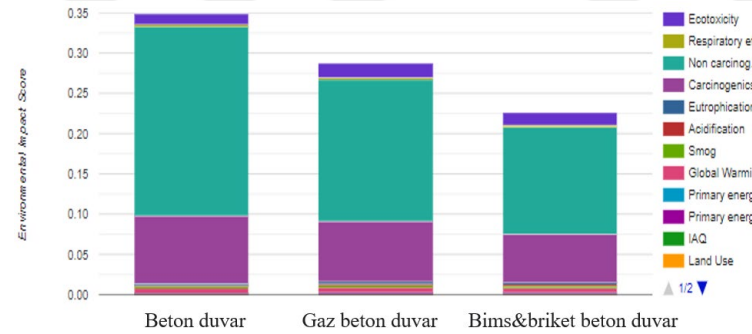
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	7.58e-3	1.08e-2	9.49e-3
Üretim	4.72e-4	4.72e-4	4.72e-4
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	8.38e-5	7.29e-5	7.13e-5
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	2.44e-5	2.44e-5	2.44e-5
Toplam	8.17e-3	1.13e-2	1.01e-2

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “ötrofikasyonun” oransal değerleri Şekil 7.43’de gösterilmiştir.



Şekil 7.43. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK’nin ötrofikasyonun oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “ötrofikasyonun” çevresel etki kategorilerinin oransal değerleri Şekil 7.44’de gösterilmiştir.



Şekil 7.44. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ötrofikasyonun ÇEK oransal değerleri.

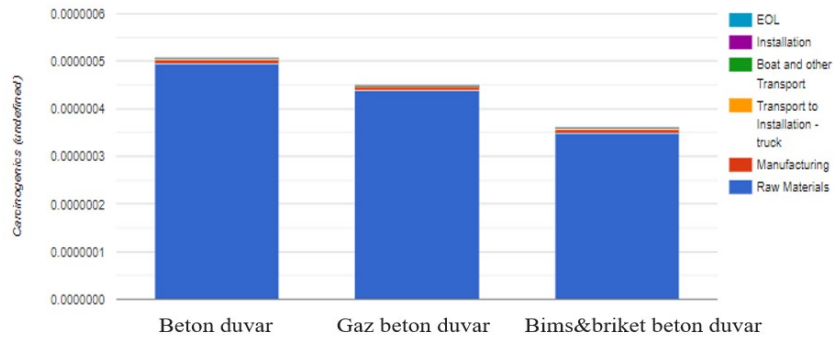
7.2.10. Kanserojenler

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan “kanserojenlerin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.24’de verilmiştir.

Çizelge 7.24. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın kanserojenlerin birim maliyetleri.

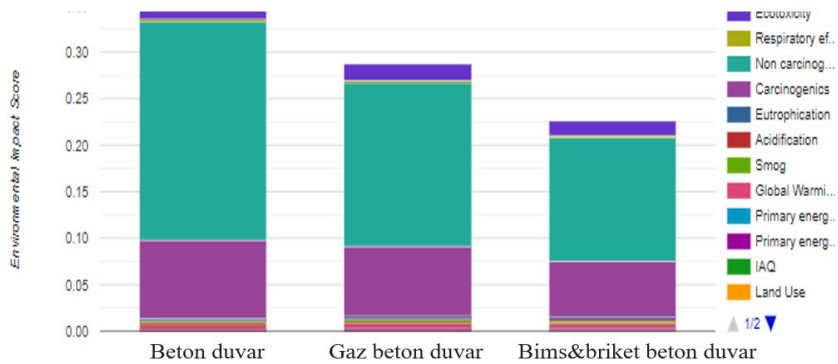
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	4.94e-7	4.38e-7	3.49e-7
Üretim	7.91e-9	7.91e-9	7.91e-9
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	3.45e-9	3.00e-9	2.94e-9
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	4.39e-10	4.39e-10	4.39e-10
Toplam	5.06e-7	4.49e-7	3.60e-7

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “kanserojenlerin” oransal değerleri Şekil 7.45’de gösterilmiştir.



Şekil 7.45. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK’nin kanserojenlerin oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın “Kanserojenlerin” çevresel etki kategorilerinin oransal değerleri Şekil 7.46’de gösterilmiştir.



Şekil 7.46. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın kanserojenlerin ÇEK oransal değerleri.

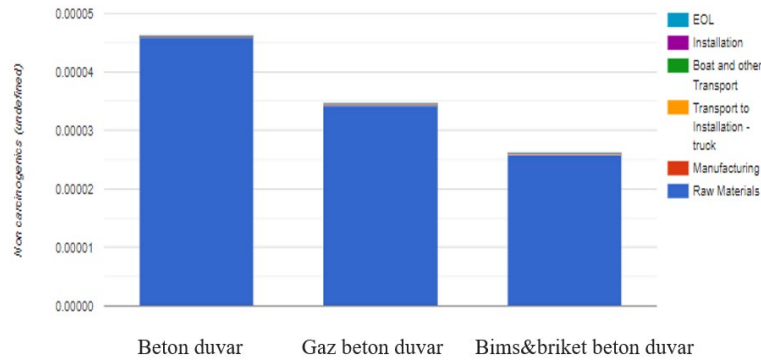
7.2.11. Kanserojen Olmayanlar

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan “kanserojen olmayanların” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.25’de verilmiştir.

Çizelge 7.25. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın kanserojen olmayanların birim maliyetleri.

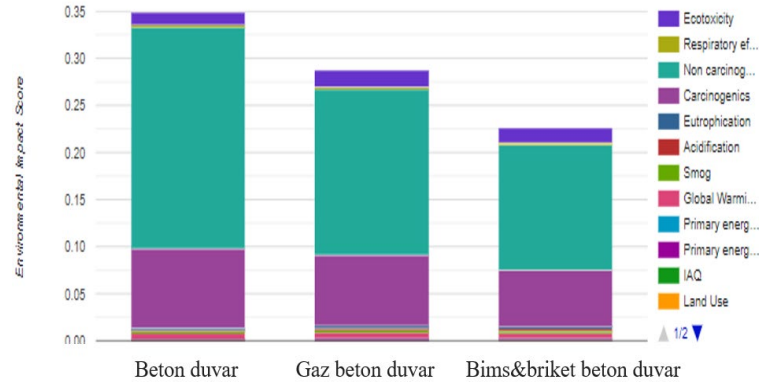
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	4.59e-5	3.43e-5	2.59e-5
Üretim	1.65e-7	1.65e-7	1.65e-7
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	3.32e-8	2.89e-8	2.83e-8
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	4.22e-9	4.22e-9	4.22e-9
Toplam	4.61e-5	3.45e-5	2.61e-5

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Kanserojen Olmayanların” oransal değerleri Şekil 7.47’de gösterilmiştir.



Şekil 7.47. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK’nin kanserojen olmayanların oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Kanserojen Olmayanların” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.48’de gösterilmiştir.



Şekil 7.48. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın kanserojen olmayanların ÇEK oransal değerleri.

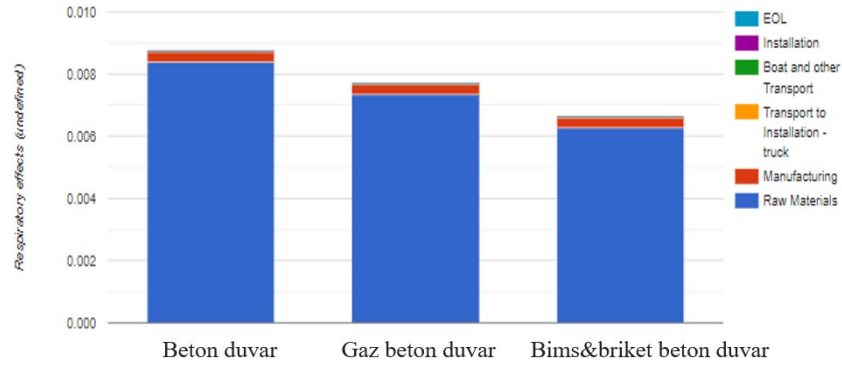
7.2.12. Solunum Etkileri (kg PM_{2,5})

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan “solunum etkilerinin” ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.26’de verilmiştir.

Çizelge 7.26. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın solunum etkilerinin birim maliyetleri.

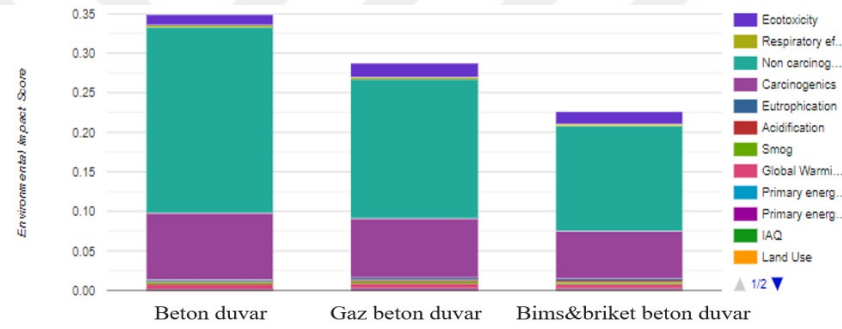
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	8.37e-3	7.33e-3	6.26e-3
Üretim	3.36e-4	3.36e-4	3.36e-4
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	2.62e-5	2.28e-5	2.23e-5
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	8.39e-6	8.39e-6	8.39e-6
Toplam	8.74e-3	7.69e-3	6.63e-3

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Solunum Etkilerinin” oransal değerleri Şekil 7.49’de gösterilmiştir.



Şekil 7.49. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK'nin solunum etkilerinin oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için "Solunum Etkilerinin" ÇEK'nin oransal değerleri Şekil 7.50'de gösterilmiştir.



Şekil 7.50. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın solunum etkilerinin ÇEK oransal değerleri.

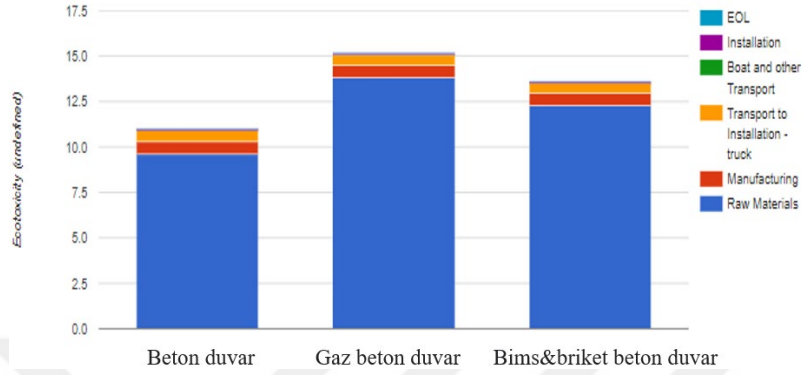
7.2.13. Ekolojik Toksikite

BEES ile incelenen Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için YDED kategorilerinden olan "ekolojik toksisitenin" ham madde, üretim, yükleme-boşaltma, kurulum ve yaşam sonu değerleri Çizelge 7.27'de verilmiştir.

Çizelge 7.27. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ekolojik toksisitenin birim maliyetleri.

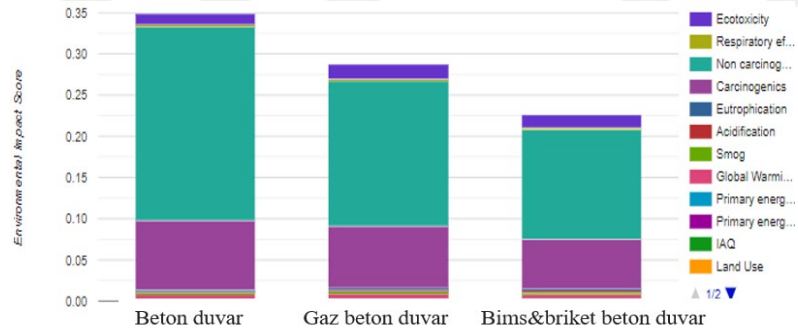
Aşama	Beton Duvar	Gaz Beton Duvar	Bims-Briket Beton Duvar
Ham Madde	9.60e+0	1.38e+1	1.23e+1
Üretim	6.69e-1	6.69e-1	6.69e-1
Yüklemeye Taşıma- Kamyon	6.42e-1	5.59e-1	5.47e-1
Kurulum	1.00e-14	1.00e-14	1.00e-14
Yaşam Sonu	8.14e-2	8.14e-2	8.14e-2
Toplam	1.10e+1	1.51e+1	1.36e+1

Yaşam döngü etki kategorilerinin Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Ekolojik Toksisitenin” oransal değerleri Şekil 7.51’de gösterilmiştir.



Şekil 7.51. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın YDEK’nin ekolojik toksisitenin oransal değerleri.

Beton, Gaz beton ve Bims&briket beton dış duvarın birim değerleri için “Ekolojik Toksisitenin” ÇEK’nin oransal değerleri Şekil 7.52’de gösterilmiştir.



Şekil 7.52. Beton, gaz beton ve bims&briket beton dış duvarın ekolojik toksisitenin ÇEK oransal değerleri.

7.3. DUVAR MODELLERİNİN YAŞAM DÖNGÜ MALİYETLERİ

Konutlarda TS-825’e uygun olmayan mevcut Tuğla dış duvarın yaşam döngü maliyeti, bu Tuğla duvarın TS-825’e uygun olması halindeki yaşam döngü maliyeti, Dış duvarın TS-825’e uygun Beton duvar olması, Gaz beton duvar olması ve Bims-briket beton duvar olması durumları için ayrı ayrı yaşam döngü analizleri yapılmış ve sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.

7.3.1. Mevcut Tuğla Duvarın (TS 825'e Uygun Değil) Yaşam Döngü Maliyeti

Konutlarda mevcut tuğla dış duvar kalınlığının 20 cm, toplam sıva kalınlığının 3,3 cm ve dış yalıtım kalınlığının 3 cm olarak alınması durumunda hesaplanan yaşam döngü maliyeti, karbon maliyeti ve toplam yaşam döngü maliyeti Çizelge 7.28'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.28. Mevcut tuğla duvarın (TS 825'e uygun değil) yaşam döngü maliyeti.

Sonuçlar	Birim Maliyet (\$/birim)			Toplam Maliyet (Toplam \$)		
	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)
Tuğla duvar (20 cm)	5.00	0.04	5.04	20,666,710	165,334	20,832,044
Sıva (3,3cm)	5.00	0.02	5.02	30,720,785	122,883	30,843,668
Dış cephe yalıtımı (3 cm)	\$5.00	\$0.02	\$5.02	24,409,500	97,638	24,507,138
Toplam				75,796,995	385,855	76,182,850

7.3.2. Mevcut Tuğla Duvar TS 825'e Uygun Olursa Yaşam Döngü Maliyeti

Konutlarda tuğla dış duvar kalınlığının 20 cm, toplam sıva kalınlığının 3,3 cm ve dış yalıtım kalınlığının hesaplanarak 5 cm alınması durumunda hesaplanan yaşam döngü maliyeti, karbon maliyeti ve toplam yaşam döngü maliyeti Çizelge 7.34'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.29. Mevcut tuğla duvarın (TS 825'e Uygun) yaşam döngü maliyeti.

Sonuçlar	Birim Maliyet (\$/birim)			Toplam Maliyet (Toplam \$)		
	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)
Tuğla duvar (20 cm)	5.00	0.04	5.04	20,666,710	165,334	20,832,044
Sıva (3,3cm)	5.00	0.02	5.02	30,720,785	122,883	30,843,668
Dış cephe yalıtımı (5 cm)	\$5.00	\$0.02	\$5.02	40,682,500	162,730	40,845,230
Toplam				92,069,995	450,947	92,520,942

7.3.3. TS 825'e Uygun Beton Duvarın Yaşam Döngü Maliyeti

Konutlarda dış duvarın 20 cm kalınlığında beton duvar olması, toplam sıva kalınlığının 3,3 cm ve dış yalıtım kalınlığının hesaplanarak 6 cm olması durumunda bu değerlere göre hesaplanan yaşam döngü maliyeti, karbon maliyeti ve toplam yaşam döngü maliyeti Çizelge 7.35'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.30. Beton dış duvarın (TS 825'e uygun) yaşam döngü maliyeti.

Sonuçlar	Birim Maliyet (\$/birim)			Toplam Maliyet (Toplam \$)		
	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)
Beton Duvar (20 cm)	5.00	0.09	5.09	27,121,667	503,094	27,624,761
Sıva (3,3 cm)	5.00	0.02	5.02	30,720,785	109,512	30,830,297
Dış cephe yalıtımı (6 cm)	5.00	0.02	5.02	48,819,000	182,261	49,001,261
Toplam				106,661,452	794,867	107,456,319

7.3.4. TS 825'e Uygun Gaz Beton Duvarın Yaşam Döngü Maliyeti

Konutlarda dış duvarın 20 cm kalınlığında gaz beton duvar olması, toplam sıva kalınlığının 3,3 cm ve dış yalıtım kalınlığının hesaplanarak 2 cm olması durumunda bu değerlere göre hesaplanan yaşam döngü maliyeti, karbon maliyeti ve toplam yaşam döngü maliyeti Çizelge 7.36'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.31. Gaz Beton dış duvarın (TS 825'e uygun) yaşam döngü maliyeti.

Sonuçlar	Birim Maliyet (\$/birim)			Toplam Maliyet (Toplam \$)		
Ürün	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)
Gaz Beton Duvar (20 cm)	5.00	0.10	5.10	27,121,667	542,433	27,664,100
Sıva (3,3 cm)	5.00	0.02	5.02	30,720,785	109,512	30,830,297
Dış cephe yalıtımı (2 cm)	5.00	0.02	5.02	16,273,000	65,092	16,338,092
Toplam				74,115,452	717,037	74,832,489

7.3.5. TS 825'e Uygun Bims-Briket Beton Duvarın Yaşam Döngü Maliyeti

Konutlarda dış duvarın 20 cm kalınlığında Bims-briket beton duvar olması, toplam sıva kalınlığının 3,3 cm ve dış yalıtım kalınlığının hesaplanarak 4 cm olması durumunda bu değerlere göre hesaplanan yaşam döngü maliyeti, karbon maliyeti ve toplam yaşam döngü maliyeti Çizelge 7.37'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.32. Bims&briket beton dış duvarın (TS 825'e uygun) yaşam döngü maliyeti.

Sonuçlar	Birim Maliyet (\$/birim)			Toplam Maliyet (Toplam \$)		
Ürün	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam (LCC + CC)
Bims-Briket Beton Duvar (20 cm)	5.00	0.09	5.09	27,121,667	503,094	27,624,761
Sıva (3,3 cm)	5.00	0.02	5.02	30,720,785	109,512	30,830,297
Dış cephe yalıtımı (4 cm)	5.00	0.02	5.02	32,546,000	130,184	32,676,184
Toplam				90,388,542	742,790	91,131,242

8. DUVAR MODELLERİNİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

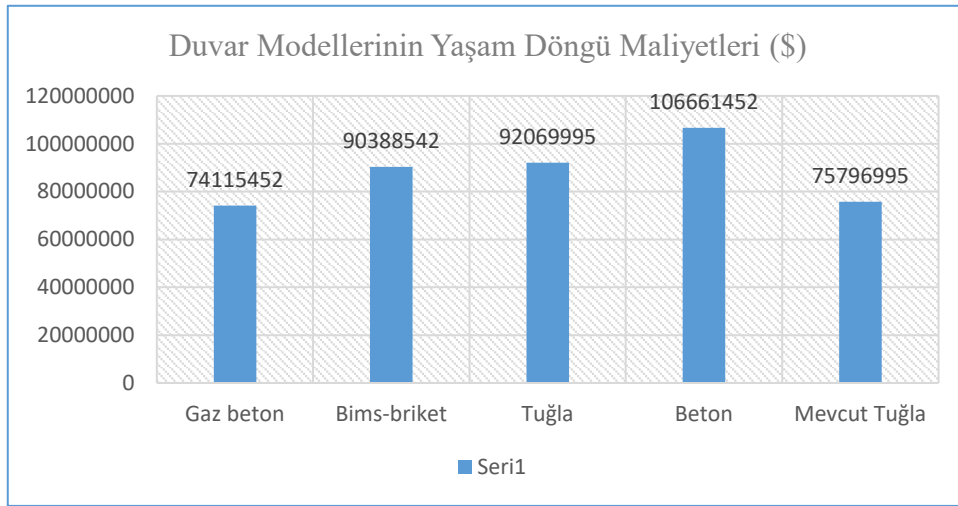
Mevcut tuğla duvar kesitinde 3 cm kalınlığında Extrude Polistren Köpük kullanılmış olup bu hali ile ısı yalıtımı açısından TS 825'e uygun olmadığı yapılan hesaplarla önceki bölümlerde tespit edilmiştir. Bu mevcut tuğla duvarın kesitinin TS-825'e uygun olabilmesi için dış cephe yalıtımında kullanılan Extrude Polistren Köpük kalınlığının en az 4,47 cm olması gerektiği hesaplarla gösterilmiştir. Ancak piyasa şartlarında 4,47 cm kalınlığında Extrude Polistren Köpük bulunamayacağı için kalınlık 5 cm olarak alınmıştır. Mevcut tuğla dış duvar kesitinde Extrude Polistren Köpük 5 cm alındığında TS-825 şartları sağlanabilmektedir. Bununla birlikte konutlarda ki dış duvarın TS-825'e uygun tuğla duvar, beton, gaz beton ve bims-briket beton olması durumları için toplam 5 ayrı duvar modelinin 60 yıl için yaşam döngü maliyet analizleri yapılmış ve sonuçlar tek bir tablo halinde Çizelge 8.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.1. Duvar modellerinin yaşam döngü analiz sonuçları.

Öncelik Sıra No	Duvar Modeli	Yaşam döngü maliyeti (LCC)	Karbon maliyeti (CC)	Toplam Maliyet \$ (LCC + CC)	Endeks Değerleri (%)
1	TS 825'e Uygun Gaz Beton Duvar	74,115,452	717,037	74,832,489	100,00
2	TS 825'e Uygun Bims-Briket Beton Duvar	90,388,542	742,790	91,131,242	121,78
3	Tuğla Duvar TS 825'e Uygun Olursa	92,069,995	450,947	92,520,942	123,64
4	TS 825'e Uygun Beton Duvar	106,661,452	794,867	107,456,319	143,59
5	Mevcut Tuğla Duvar (TS 825'e Uygun Değil)	75,796,995	385,855	76,182,850	101,80

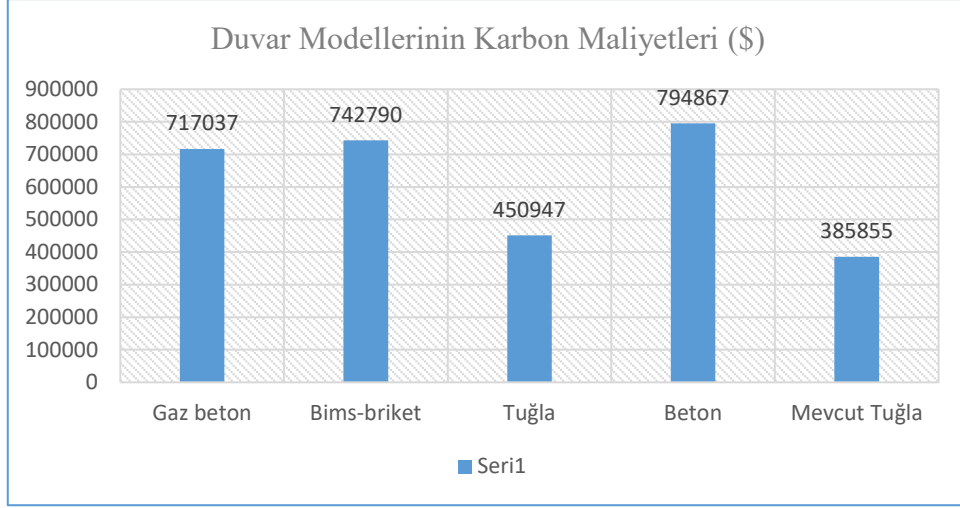
Tablo incelendiğinde yaşam döngü analizleri sonucunda en uygun dış duvar kesitinin TS825'e uygun kesitte olan Gaz beton olduğu, ikinci sırada ise TS825'e uygun kesitte olan Bims-Briket beton duvar olduğu, üçüncü sırada TS825'e uygun kesitte tuğla duvar olduğu ve mevcut tuğla duvar yaşam döngü maliyetinin Bims-Biriket beton duvar maliyetine yakın olduğu, dördüncü sırada ise en büyük yaşam döngü maliyeti ile beton

duvarın yer aldığı görülmektedir. TS825'e uygun olmayan mevcut tuğla duvarın yaşam döngü maliyetinin de bu hali ile ikinci sırada yer aldığı görülse de bu durumun TS 825'e uygun olmaması nedeni ile yapının 60 yıllık servis ömrü boyunca ısınma-soğutma giderlerinin de diğer kesitlere göre çok büyük maliyetlere sebep olacağı açıktır. Bu nedenle TS825'e uygun olmayan mevcut duvar kesitinin yaşam döngü maliyetinin bu hali ile dikkate alınmaması gerekir. Duvar modellerinin yaşam döngü maliyetleri karşılaştırmalı olarak aşağıda grafik olarak Şekil 8.1'de gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Duvar modellerinin yaşam döngü maliyetleri.

En yüksek yaşam döngü maliyetinin beton duvarda olduğu, ikinci sırada tuğla duvar, üçüncü sırada bims&briket duvar ve dördüncü sırada mevcut tuğla duvar olduğu buna karşın en düşük yaşam döngü maliyetinin ise gaz beton duvarda olduğu görülmektedir. Duvar modellerinin karbon maliyetleri karşılaştırmalı olarak aşağıda grafik olarak Şekil 8.2'de gösterilmiştir.



Şekil 8.2. Duvar modellerinin karbon maliyetleri.

En yüksek karbon maliyetinin beton duvarda olduğu, ikinci sırada bims&briket duvar olduğu, üçüncü sırada gaz beton olduğu, dördüncü sırada TS825'e uygun tuğla duvar olduğu, son sırada ise TS 825'e uygun olmayan mevcut tuğla duvar olduğu görülmektedir. En az yaşam döngü maliyeti olan TS 825'e uygun "Gaz beton duvar" referans olarak alındığında diğer duvar kesitlerinin gaz beton duvara göre yaşam döngü maliyetleri kıyaslandığında Bims&briket duvarın yaşam döngü maliyetinin yaklaşık %22 (%21,78) daha fazla, olduğu, TS825'e uygun mevcut tuğla duvarın yaşam döngü maliyetinin yaklaşık %24 (%23,64) daha fazla olduğu, TS 825'e uygun beton duvarın yaşam döngü maliyetinin yaklaşık %44 (%43,59) daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte TS 825'e uygun olmayan mevcut tuğla duvarın yaşam döngü maliyetinin ise yaklaşık %2 (%1,8) daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

8.1. YAŞAM DÖNGÜ ANALİZ SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Farklı dış duvar modellerinin (beş çeşit) yaşam döngü analizleri yapılmış ve analizler sonucunda elde edilen yaşam döngü maliyetleri ile karbon maliyetlerinin istatistiksel analizleri yapılmıştır.

8.1.1. Tanımlayıcı istatistikler

Dış duvar modellerinin yaşam döngü maliyetleri ile karbon maliyetlerinin sınır değerleri, minimum, maksimum, ortalama, standart sapma, standart hata ve varyans değerleri hesaplanarak tablo halinde Çizelge 8.2'de gösterilmiştir [31].

Çizelge 8.2. Duvar modellerinin yaşam döngü ve karbon maliyetlerinin tanımlayıcı istatistikleri.

	N	Range	Min.	Max.	Mean		Std. Deviation	Variance
					Statistic	Std. Error	Statistic	Statistic
Yaşam Döngü Maliyeti	5	32546000	74115452	106661452	87806487,2	5966684,8	13341912,8	178006637777400,7
Karbon Maliyeti	5	409012	385855	794867	618299,2	83204,6	186051,3	34615091347,2

8.1.2. Yaşam Döngü Maliyeti ve Karbon Maliyeti İçin Paired Samples t-Test (Bağımlı Örneklem t-Testi)

Bağımlı örneklem t-testi, bir değişkenin farklı durumlarda gözlemlenen değerlerinin ortalamalarını karşılaştırmak amacı ile yapılan bir karşılaştırma testidir. Farklı duvar modellerinin yaşam döngü maliyetleri ve karbon maliyetlerinin duvar modelleri bazında ortalamalar açısından farklı olup olmadığı karşılaştırılmıştır. Bağımlı Örneklem t-Testi için H_0 ve H_1 hipotezlerimiz duvar modellerinin yaşam döngü maliyetleri ve karbon maliyetleri için ayrı ayrı ifade edilmiştir [31].

Duvar modellerinin yaşam döngü maliyetleri için hipotezlerimiz;

- H_0 : %95 güvenle aralığında, duvar modellerinin yaşam döngü maliyetlerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. ($M_1=M_2=M_n$)
- H_1 : %95 güvenle aralığında, duvar modellerinin yaşam döngü maliyetlerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. ($M_1 > M_2$)

Duvar modellerinin karbon maliyetleri için hipotezlerimiz;

- H_0 : %95 güvenle aralığında, duvar modellerinin karbon maliyetlerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. ($M_1=M_2=M_n$)
- H_1 : %95 güvenle aralığında, duvar modellerinin karbon maliyetlerinin ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır. ($M_1 > M_2$)

Duvar modellerinin yaşam döngü maliyetleri ile karbon maliyetleri açısından duvar modeli bazında ortalama maliyetler açısından fark olup olmadığı %95 güven aralığında test edilmiş ve sonuçlar Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.3. Bağımlı örneklem t-Testi istatistik sonuçları.

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Yaşam Döngü Maliyeti	87806487,20	5	13341912,823	5966684,804
Pair 2	Karbon Maliyeti	618299,20	5	186051,314	83204,677

Çizelge 8.4. Bağımlı örneklem t-Testi karşılaştırma sonuçları.

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Yaşam Döngü Maliyeti	87806484,2	13341912,4	5966684,6	71240311,8	104372656,5	14,7	4	,000
Karbon Maliyeti	618296,2	186052,1	83205,0	387281,9	849310,4	7,4	4	,002

Yapılan analiz sonucunda duvar modellerinin yaşam döngü maliyetlerinin ortalamaları arasında %95 güven aralığında istatistiksel olarak sig. 0,000 ile anlamlı farklılıklar olduğu, aynı şekilde duvar modellerinin karbon maliyetlerinin ortalamaları arasında da %95 güven aralığında istatistiksel olarak sig. 0,002 ile anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

9. BULGULAR VE TARTIŞMA

İlk kez 1987’de Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanan Brundtland raporunda ayrıntılı olarak ele alınan “Sürdürülebilirlik”, “bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların da kendi gereksinimlerini karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak” olarak tanımlanmıştır [8]. Sürdürülebilirliğin gerçekleşmesi için yenilenebilir doğal kaynakların tüketiminin doğanın üretebilme kapasitesini aşmaması gerekir [15]. Sürdürülebilirlik sosyal, ekonomik ve çevresel alt öğelerden oluşmaktadır. Çevresel olarak ürünleri değerlendirebilmek için sadece ürünü değil, ürünün üretim süreçlerini ve muhteviyatını da bilmek gerekmektedir. Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD) yöntemi bu konuların hangi kapsamda ve nasıl inceleneceğine ilişkin olarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Tüm malzemeler ekolojik bağlamda bir yaşam döngüsü içerisinde oluşmakta, yok olmakta veya yeniden oluşturulmaktadır. Bir ürünün yaşam döngüsünün aşamalarından oluşan girdiler (kaynaklar, enerji ve su) ve çıktılar (yayımlar, atıklar ve katı atıklar) ekosistemi, dünyayı ve insan sağlığını çeşitli şekillerde ve düzeylerde etkilerler. YDD hammadde elde edilmesinden yok edilmesine kadar geçen süreçteki her tür çevresel etkiyi bütüncül olarak değerlendirmektedir. Yaşam Döngü Değerlendirmesinin başlangıcı malzeme ve enerji kaynaklarında sıkıntı çekilen 1960’lara dayanmaktadır. [10]. Süreç içinde yapılan çalışmalar, hazırlanan mevzuat ve standartlarla konu kamuoyunun dikkatini çekmeye başlamış ve EN15804 “İnşaat işlerinde sürdürülebilirlik, çevresel ürün deklarasyonu-İnşaat malzemelerinde Ürün Kategori Kuralları (PCR) olarak tamamlanmıştır [25]. Bu kurallar, “Sürdürülebilir bina ve sürdürülebilir yapı malzemesi” tanımı kapsamında havaya, suya ve toprağa daha az zarar veren, daha az enerji harcayan binalar ve yapı malzemeleri üretmeye zorlamaktadır. Ancak, ekolojik açıdan daha faydalı ürünler elde etmek için mevcut malzemelerin etkilerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, Düzce de 1999 yılında ki depremlerden sonra yapılan ve yaklaşık 20 yıldır kullanılmakta olan Kalıcı Konutlarda örnek olarak seçilen tip binaların taşıyıcı olmayan Dış Duvarları YDD yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmada, öncelikle mevcut dış duvarları oluşturan malzemelerinin çevresel etkileri, YDD yöntemiyle tespit edilerek çevresel etkileri malzeme bazında tüm yaşam döngü süreçlerini kapsayacak şekilde analiz edilmiş, yaşam döngü maliyetleri belirlenmiş ve nihai yaşam döngü maliyetleri tespit edilerek toplam 60 yıllık servis ömrü için BEES (Building for Environmental and Economic

Sustainability, Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik) ile analiz edilmiştir. Mevcut dış duvar Tuğla olup bunula birlikte dış duvarın TS825'e uygun Tuğla, Beton, Gaz beton ve Bims&briket olması durumunda ki yaşam döngü analizleri de yapılmıştır.

1994 yılında ortaya çıkarılan BEES geliştirildiği kurum olan NIST'in (National Institute of Standards and Technology-Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü) internet sitesi üzerinden yapı ürünlerinin değerlendirilmesi için kullanabilmektedir. Bu analiz programları, çevre ve ekonomik performans değerlendirmesi yaparak yapı ürünlerinin çevre ve ekonomik performanslarına göre seçilmelerine olanak sağlayabilmektedirler. BEES metodolojisi, birden çok sürdürülebilirlik kriterini göz önünde bulundurarak çok boyutlu bir yaşam döngüsü yaklaşımı benimsemektedir. Bir yapı ürününün tüm ömrü boyunca çevresel, ekonomik ve sosyal etkiler değerlendirilmelidir. Çevresel performans tipik olarak parasal bir ölçekte ölçülemezken, birden çok yaşam döngüsü aşamasındaki çoklu etki kategorilerini ele alan çevresel Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) olarak bilinen çok disiplinli yaklaşım kullanılarak ölçülebilir. Çevresel LCA, çevresel performansı ölçmek için "beşikten mezara" bir sistem yaklaşımıdır. Yaklaşım, bir ürünün kullanım ömrünün tüm aşamalarının çevresel etkiler yarattığı ve bu nedenle hammadde edinimi, ürün imalatı, nakliye, kurulum, çalıştırma, bakım ve nihayetinde geri dönüşüm ve atık yönetimi dâhil olmak üzere analiz edilmesi gerektiği mantığına dayanmaktadır. Benzer bir çalışma yapan Deniz Üçer çalışmasında tuğla duvar, doğal taş duvar, gaz beton duvar ve kerpiç duvar türlerini YDD ile incelenmiştir. Buna göre;

- Üretim aşamasında; tuğla ve gaz beton özel üretim tesisleri ve enerji gereksinimleri nedeni ile yüksek maliyetli iken doğal taş ve kerpiç duvarların daha düşük yaşam döngü maliyetleri olduğu ifade edilmiştir.
- Montaj aşamasında; ise gaz betonların mesafe açısından yüksek maliyet oluşturmasına karşın kerpiç duvarların yakın mesafeden temin edilmesi nedeni ile düşük maliyetli olduğu,
- Bakım-onarım sürecinde; tuğla, doğal taş bloklar ve kerpiç duvarlar düzenli bakım-onarım gerektirebilirken gaz betonlarda gerekmediği tuğla ve taş duvarlar 25 yılda bir bakım gerektirirken kerpiç duvarlar 10 yılda bir bakım gerektir. Yığma duvar türlerinin faydalı ömürleri boyunca bakım onarım sıklığının fazla olması yaşam döngü maliyetini de arttırmaktadır.
- Faydalı ömür açısından; duvarların faydalı ömürleri kullanılan malzemenin dayanıklılığına göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle doğal taş bloklar

yaklaşık 800 yıl faydalı ömre sahip iken gaz betonun ömrü yaklaşık 100 yıl olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle faydalı ömür açısından en az maliyetli olan duvarın doğal taş duvar olduğu ifade edilmiştir.

- Yaşam sonu açısından; dış duvar malzemelerinin yaşam sonlarında kırılması ve taşınması süreci dikkate alınmaktadır. Bu açıdan, tuğla ve gaz betonun geri dönüşümü çevresel etki açısından tercih edilmediği ifade edilmiştir.

Tüm bu değerlendirme ve analizlerden sonra incelenen 4 yığma duvar modelinden tuğla duvar, doğal taş duvar, gaz beton duvar ve kerpiç duvarlardan yaşam döngü maliyeti açısından en uygun duvar modelinin “kerpiç duvar” olduğu tespit edilmiştir [32].

Düzce ili kalıcı konutları için yapılan bu çalışmada, BEES te incelenen çevresel etki faktörleri önem derecelerine göre ağırlıklandırılmış ve analizler bu ağırlıklara göre yapılmıştır. Bunlardan en öne çıkan etki faktörleri 18 ağırlık puanları ile küresel ısınma potansiyeli ve arazi kullanımı iken, üçüncü sırada 12 puan ile ekolojik toksisite, kanser oluşumu 8 puan iken enerji tüketimi, hava kriteri, duman oluşumu 7 puan, ozon tabaksının incelmeye potansiyeli, asitleştirme, kanser yapmayan etki, Ötrofikasyon 5'er puan ve su kullanımı 3 puan olarak ağırlıklandırılmış olup toplam ağırlık puanı 100'dür. Analiz sonuçları bu ağırlıklandırma puanlarına göre değerlendirilmiş, karbon maliyeti de hesaplanarak toplam yaşam döngü maliyeti hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında toplam 5 dış duvar modeli incelenmiştir. Bu dış duvar modelleri TS825 yönetmeliğine uygun olarak ikinci derece gün bölgesinde yer alan Düzce ili için $U=0,6$ 'ya göre ısı geçirgenlik dirençleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. İncelenen dış duvarlar; Mevcut Tuğla duvar, TS825'e uygun olmak üzere Tuğla duvar, Beton duvar, Gaz beton duvar ve Bims&briket beton duvarlardır. TS825'e göre yapılan hesaplarda mevcut dış duvar kesitinde 3 cm'lik “Extrude Polistren Köpük” kalınlığının TS825 şartını sağlamadığı ve yetersiz olduğu anlaşılmıştır.

Duvar kesitleri aynı olmak üzere; Tuğla duvar kesitinin TS825 şartını sağlayabilmesi için “Extrude Polistren Köpük” kalınlığının en az 4,47 cm olması gerektiği tespit edilmiştir. Dış duvarın TS825 şartını sağlayacak şekilde Beton duvar olması durumunda “Extrude Polistren Köpük” kalınlığının en az 5,56 cm, Gaz beton olması durumunda en az 1,67 cm, Bims&briket olması durumunda ise en az 3,30 cm kalınlığında olması gerektiği tespit edilmiştir.

Dış duvar modellerinin kesitleri aynı ancak TS825'e uygunluk için sadece dış yalıtım

kalınlıkları farklı olmak üzere 60 yıllık kullanım ömrü için yaşam döngü maliyetleri ve karbon maliyetleri hesaplanmıştır. Buna göre;

- TS825 şartını sağlamayan mevcut Tuğla duvarın yaşam döngü maliyeti 75.796.995 \$, karbon maliyeti 385.855 \$ ve toplam yaşam döngü maliyeti 76.182.850 \$ olarak hesaplanmıştır.
- TS825' uygun Tuğla duvarın yaşam döngü maliyeti 92.069.995 \$, karbon maliyeti 450.947 \$ ve toplam yaşam döngü maliyeti 92.520.942 \$ olarak hesaplanmıştır.
- TS825' uygun Beton duvarın yaşam döngü maliyeti 106.661.452 \$, karbon maliyeti 794.867 \$ ve toplam yaşam döngü maliyeti 107.456.319 \$ olarak hesaplanmıştır.
- TS825' uygun Gaz beton duvarın yaşam döngü maliyeti 74.115.452 \$, karbon maliyeti 717.037 \$ ve toplam yaşam döngü maliyeti 74.832.489 \$ olarak hesaplanmıştır.
- TS825' uygun Bims&briket beton duvarın yaşam döngü maliyeti 90.388.542 \$, karbon maliyeti 742.790 \$ ve toplam yaşam döngü maliyeti 91.131.242 \$ olarak hesaplanmıştır.

Dış duvar modellerinin yaşam döngü analizleri sonucunda en uygun dış duvar kesitinin TS825'e uygun kesitte olan Gaz beton olduğu, ikinci sırada ise TS825'e uygun kesitte olan Bims&Briket beton duvar olduğu, üçüncü sırada TS825'e uygun kesitte Tuğla duvar olduğu ve mevcut tuğla duvar yaşam döngü maliyetinin Bims&briket beton duvar maliyetine yakın olduğu, dördüncü sırada ise en büyük yaşam döngü maliyeti ile beton duvarın yer aldığı görülmektedir. TS825'e uygun olmayan mevcut tuğla duvarın yaşam döngü maliyetinin de bu hali ile ikinci sırada yer aldığı görülse de bu durumun TS 825'e uygun olmaması nedeni ile yapının 60 yıllık servis ömrü boyunca ısınma-soğutma giderlerinin de diğer kesitlere göre çok büyük maliyetlere sebep olacağı açıktır. Bu nedenle TS825'e uygun olmayan mevcut duvar kesitinin yaşam döngü maliyetinin bu hali ile dikkate alınmaması gerekir.

En az yaşam döngü maliyeti TS 825'e uygun "Gaz beton duvar" referans olarak alındığında diğer duvar kesitlerinin gaz beton duvara göre yaşam döngü maliyetleri kıyaslandığında ise Bims&briket duvarın yaşam döngü maliyetinin yaklaşık %22 (%21,78) daha fazla, olduğu, TS825'e uygun mevcut tuğla duvarın yaşam döngü maliyetinin yaklaşık %24 (%23,64) daha fazla olduğu, TS 825'e uygun beton duvarın yaşam döngü maliyetinin yaklaşık %44 (%43,59) daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Bununla birlikte TS 825'e uygun olmayan mevcut tuğla duvarın yaşam döngü maliyetinin ise yaklaşık %2 (%1,8) daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Karbon maliyeti açısından en yüksek maliyetin 794867 \$ ile beton duvarda, 742790 \$ ile Bims&briket duvarın ikinci sırada, 717037 \$ ile Gaz betonun üçüncü sırada, 450947 \$ ile TS825'e uygun Tuğla duvarın dördüncü sırada yer aldığı ve TS825'e uygun olmayan mevcut tuğla duvarın ise 385855 \$ ile beşinci sırada yer aldığı görülmüştür. Karbon maliyetlerinin toplam yaşam döngü maliyeti içindeki oranlarına bakıldığında en yüksek karbon maliyetinin %0.958 ile TS825'e uygun kesitte ki Gaz betonda olduğu, ikinci sırada %0.815 ile Bims&briket olduğu, üçüncü sırada %0,74 ile Beton duvarda olduğu, TS825'e uygun olmayan mevcut Tuğla duvarın %0.506 ile dördüncü sırada ve %0.487 ile TS825'e uygun Tuğla duvarın en az karbon maliyeti olduğu görülmüştür.

Farklı dış duvar modellerinin yaşam döngü maliyetleri ile karbon maliyetleri arasında %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup olmadığı bağımlı örneklem t-Testi ile test edilmiş ve duvar modellerinin yaşam döngü maliyetlerinin ortalamaları arasında %95 güven aralığında istatistiksel olarak sig. 0,000 ile anlamlı farklılıklar olduğu, aynı şekilde duvar modellerinin karbon maliyetlerinin ortalamaları arasında da %95 güven aralığında istatistiksel olarak sig. 0,002 ile anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda toplu konut olarak yapılan Düzce ili kalıcı konutlarında toplam Yaşam Döngü Maliyeti açısından en uygun duvar modelinin gaz beton duvar olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte TS8225'e uygun Bims&briket duvar ile Tuğla duvar arasında Yaşam Döngü Maliyeti açısından önemli bir fark olmadığı (%1,8) her ikisinin de aynı kabul edilebileceği buna karşın en fazla yaşam döngü maliyetinin ise beton duvarda olduğu anlaşılmıştır. Başka malzeme ve duvar kesitleri ile yaşam döngü analizleri yapılarak toplu konutlar için daha uygun duvar modelleri araştırılabilir. Bununla birlikte söz konusu çalışmalar sadece dış duvar değil yapının diğer elemanlarını kapsayacak şekilde de yapılabilir. Yapının ilk yapım maliyeti ile yaşam döngü maliyetleri de ayrıca araştırılarak çeşitli karşılaştırmalar ve değerlendirmeler de yapılabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte yapıların maliyet analizleri yapılırken ilk yapım maliyetleri ile birlikte yaşam döngü maliyetlerinin yapılmasının da gerektiği düşünülmektedir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Düzce de 1999 yılında ki depremlerden sonra yapılan ve yaklaşık 20 yıldır kullanılmakta olan Kalıcı Konutlarda örnek olarak seçilen tip binaların taşıyıcı olmayan Dış Duvarları YDD yöntemi ile incelenmiştir. Çalışmada, öncelikle mevcut tuğla dış duvarları oluşturan malzemelerinin çevresel etkileri, YDD yöntemiyle tespit edilerek çevresel etkileri malzeme bazında tüm yaşam döngü süreçlerini kapsayacak şekilde analiz edilmiş, yaşam döngü maliyetleri belirlenmiş ve nihai yaşam döngü maliyetleri tespit edilerek toplam 60 yıllık servis ömrü için BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability), Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik) ile analiz edilmiştir. Mevcut dış duvar Tuğla olup bunula birlikte dış duvarın TS825'e uygun Tuğla, Beton, Gaz beton ve Bims&briket olması durumunda ki yaşam döngü analizleri de yapılmıştır.

Çalışma kapsamında toplam 5 dış duvar modeli incelenmiştir. Bu dış duvar modelleri TS825 yönetmeliğine uygun olarak ikinci derece gün bölgesinde yer alan Düzce ili için $U=0,6$ 'ya göre ısı geçirgenlik dirençleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. İncelenen dış duvarlar; Mevcut Tuğla duvar, TS825'e uygun olmak üzere Tuğla duvar, Beton duvar, Gaz beton duvar ve Bims&briket beton duvarlardır. TS825'e göre yapılan hesaplarda mevcut dış duvar kesitinde 3 cm'lik "Extrude Polistren Köpük" kalınlığının TS825 şartını sağlamadığı ve yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Dış duvar modellerinin kesitleri aynı ancak TS825'e uygunluk için sadece dış yalıtım kalınlıkları farklı olmak üzere 60 yıllık kullanım ömrü için yaşam döngü maliyetleri ve karbon maliyetleri hesaplanmıştır. Buna göre;

- TS825 şartını sağlamayan mevcut Tuğla duvarın yaşam döngü maliyeti 75.796.995 \$, karbon maliyeti 385.855 \$ ve toplam yaşam döngü maliyeti 76.182.850 \$ olarak hesaplanmıştır.
- TS825' uygun Tuğla duvarın yaşam döngü maliyeti 92.069.995 \$, karbon maliyeti 450.947 \$ ve toplam yaşam döngü maliyeti 92.520.942 \$ olarak hesaplanmıştır.
- TS825' uygun Beton duvarın yaşam döngü maliyeti 106.661.452\$, karbon maliyeti 794.867 \$ ve toplam yaşam döngü maliyeti 107.456.319\$ olarak hesaplanmıştır.

- TS825' uygun Gaz beton duvarın yaşam döngü maliyeti 74.115.452 \$, karbon maliyeti 717.037 \$ ve toplam yaşam döngü maliyeti 74.832.489 \$ olarak hesaplanmıştır.
- TS825' uygun Bims&briket beton duvarın yaşam döngü maliyeti 90.388.542 \$, karbon maliyeti 742.790 \$ ve toplam yaşam döngü maliyeti 91.131.242 \$ olarak hesaplanmıştır.

Dış duvar modellerinin yaşam döngü analizleri sonucunda en uygun dış duvar kesitinin TS825'e uygun kesitte olan "Gaz beton" olduğu, ikinci sırada ise TS825'e uygun kesitte olan "Bims&Briket" beton duvar olduğu, üçüncü sırada TS825'e uygun kesitte "Tuğla duvar" olduğu ve mevcut tuğla duvar yaşam döngü maliyetinin Bims-briket beton duvar maliyetine yakın olduğu, dördüncü sırada ise en büyük yaşam döngü maliyeti ile beton duvarın yer aldığı görülmektedir.

En az yaşam döngü maliyeti TS 825'e uygun "Gazbeton duvar" referans olarak alındığında diğer duvar kesitlerinin gaz beton duvara göre yaşam döngü maliyetleri kıyaslandığında ise Bims&briket duvarın yaşam döngü maliyetinin yaklaşık %22 daha fazla olduğu, TS 825'e uygun mevcut tuğla duvarın yaşam döngü maliyetinin yaklaşık %24 daha fazla olduğu, TS 825'e uygun beton duvarın yaşam döngü maliyetinin yaklaşık %44 daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte en yakın değerin TS 825'e uygun olmayan mevcut tuğla duvarın yaşam döngü maliyetinin ise yaklaşık %2 daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Karbon maliyeti açısından en yüksek maliyetin 794867 \$ ile beton duvarda, 742790 \$ ile Bims&briket duvarın ikinci sırada, 717037 \$ ile Gaz betonun üçüncü sırada, 450947 \$ ile TS 825'e uygun Tuğla duvarın dördüncü sırada yer aldığı ve TS825'e uygun olmayan mevcut tuğla duvarın ise 385855 \$ ile beşinci sırada yer aldığı görülmüştür. Farklı dış duvar modellerinin yaşam döngü maliyetleri ile karbon maliyetleri arasında %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup olmadığı bağımlı örneklem t-Testi ile test edilmiş ve duvar modellerinin yaşam döngü maliyetlerinin ortalamaları arasında %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğu görülmüştür.

Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda toplu konut olarak yapılan Düzce ili kalıcı konutlarında toplam Yaşam Döngü Maliyeti açısından en uygun duvar modelinin "Gazbeton" duvar olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte TS825'e uygun Bims&briket duvar ile Tuğla duvar arasında Yaşam Döngü Maliyeti açısından önemli bir fark olmadığı

(%1,8) her ikisinin de aynı kabul edilebileceği buna karşın en fazla yaşam döngü maliyetinin ise beton duvarda olduğu anlaşılmıştır.

Yaşam döngüsü analizleri sadece dış duvar için değil, yapının diğer elemanları da dahil olmak üzere tüm yapı için yapılmalıdır. Binaların tasarım sürecinde, binanın tüm eleman ve bölümlerinde yer alacak malzeme, yapı elemanı ve yapı bileşenlerinin yaşam döngüsü maliyetleri hem taşıyıcı elemanlar hem de taşıyıcı olmayan elemanlar için ilk yapım maliyetleri ile birlikte analiz edilmelidir. Böylece doğal kaynakların sınırlı olduğu ve nüfusun hızla arttığı dünyamızda binalar açısından en uygun kesit, malzeme ve yapı elemanlarının oluşturulabileceği ve projelerin tasarım ve uygulama açısından çevre dostu, ekonomik ve sürdürülebilir olabileceği düşünülmektedir.

Binaların bulunduğu bölgenin coğrafi koşulları, iklim özellikleri, hammadde kaynaklarına uzaklığı, hammadde ve ürün tedarik olanakları gibi faktörler dönüştürülerek hem yaşam döngüsü maliyetleri hem de ilk yatırım maliyetleri bölgesel kategorik verilere dönüştürülebilir ve veri havuzları oluşturulabilir. Böylece her bir bina için hem yaşam döngüsü maliyetleri hem de ilk yapım maliyetleri belirlenebilir ve karşılaştırmalar yapılarak her bir bina için en uygun malzeme, kesit vb. belirlenebilir. Binaların tasarım aşamasından başlayarak tüm aşamaların bu koşullara uygun olarak gerçekleştirilmesi halinde doğanın korunması, çevrenin korunması, ekonomik binaların inşa edilmesi, ülke kaynaklarının binalar açısından optimum kullanımı gibi sayılamayacak boyut ve ölçülerde çok yönlü faydalar sağlanacağı değerlendirilmektedir.

Bu nedenle gerekli yasal düzenlemeler yapılarak her binanın hem ilk yapım maliyeti hem de yaşam döngüsü maliyetleri talep edilmeli, bölgesel şartlara ve kategorik sınıflandırmalara uygun olmayan yaşam döngüsü maliyetleri için projelerde gerekli revizyonlar yapılmalı ve bu uygulamalar sistematik hale getirilmelidir. Benzer uygulama Deprem Yönetmeliğimizde de yapılmış ve şehirlerimiz deprem risk durumu açısından 1., 2., 3. ve 4. derece deprem bölgeleri olarak kategorize edilmiştir. Benzer bir diğer uygulama ise TS-825'te de yapılmış ve şehirlerimiz iklim koşulları açısından derece gün bölgelerine ayrılarak tanımlanmıştır.

Benzer bir uygulamanın yaşam döngüsü analizleri için de yapılabileceği, çıkarılacak yönetmelik ile binaların bulunduğu şehirlerin hammadde, üretim, taşıma, yükleme-boşaltma, çevre kirliliği, toprak özellikleri, su kaynakları vb. yaşam döngüsü analizi parametreleri açısından sınıflandırılması ve binaların projeleri ile birlikte yaşam döngüsü

analizlerinin de ilgili idarelerce talep edilmesi ve onaylanmasının ardından projelerin hayata geçirilmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Doğal kaynakların kısıtlı ve nüfusun sürekli arttığı günümüzde yapıların 60 yıllık faydalı ömürleri dikkate alındığında ilk yapım maliyeti ile birlikte yaşam döngü maliyetlerinin hesaplanmasının da çok yönlü faydaları olacağı değerlendirilmektedir.

11. KAYNAKLAR

- [1] T.F. Bayraktar, "Türkiye’de yapı malzemeleri yaşam döngüsü değerlendirmesi için bir sistem önerisi," Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık ABD, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [2] T. Blankendaal, P. Schuur, & H. Voordijk, "Reducing the environmental impact of concrete and asphalt: a scenario approach," *Journal of Cleaner Production*, sayı 66, ss. 27–36, 2014.
- [3] H. Yan, Q. Shen, L.C.H. Fan, Y. Wang, & L. Zhang, "Greenhouse gas emissions in building construction: a case study of One Peking in Hong Kong," *Building and Environment*, sayı 45(4), ss. 949–955, 2010.
- [4] D. R. Vieira, J. L. Calmon, & F.Z. Coelho, "Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review," *Construction and Building Materials*, sayı 124, ss. 656–666, 2016.
- [5] I. Z. Bribián, V. Capilla, & A. Usón, "Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential," *Building and Environment*, sayı 46(5), ss. 1133–1140, 2011.
- [6] LEED. (2017, February 06). U.S. Green Building Council [Online]. Erişim: <http://www.usgbc.org/leed>
- [7] M. Çipoğlu, & İ. Kahraman, "Sürdürülebilir yapı tasarımı ve sürdürülebilirlik kavramlarının yapım ve tez yönetimi açısından değerlendirilmesi," *Sürdürülebilir Yapı Tasarım Kongresi*, İzmir, Türkiye, 2012, ss. 123–137.
- [8] G. H. Brundtland, "Our common future," Report Of The World Commission On Environment and Development, United Nations, Oslo, Norway, 1987.
- [9] H. Tıraş, "Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: teorik bir inceleme," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, sayı 2(2), ss. 57–73, 2012.
- [10] M. Buyle, J. Braet, & A. Audenaert, "Life cycle assessment in the construction sector: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, sayı 26, ss. 379–388, 2013.
- [11] E. C. Gentil, D. Gallo, & T. H. Christensen, "Environmental evaluation of municipal waste prevention," *Waste Management*, sayı 31(12), ss. 2371–2379, 2011.
- [12] A. Dimoudi, & C. Tompa, "Energy and environmental indicators related to construction of office buildings," *Resources, Conservation and Recycling journal*, sayı 53, ss. 86–95, 2008.

- [13] E. Acuner, “Binalarda enerji verimliliği finansmanı,” *İMSAD 1. Baskı*, İstanbul, Türkiye., 2012.
- [14] T. Polat, “Sürdürülebilir kentleşme politikaları ve Türkiye,” *Electronic Turkish Studies*, sayı 11(2), ss. 1267–1300, 2016.
- [15] C. E. Özsoy, “Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye’nin karbon ayak izi,” *HAK-İŞ Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, sayı 4(9), ss: 199–215, 2014.
- [16] F.L. Cabeza, L. Rincón, V. Vilariño, G. Pérez, & A. Castell, “Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, sayı 29, ss. 394–416, 2014.
- [17] F. Asdrubali, C. Baldassarri, & V. Fthenakis, “Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings,” *Energy and Buildings*, sayı 64, ss. 73–89, 2013.
- [18] M. Guo, “Life cycle assessment (LCA) of Light-Weight Eco-composites,” Springer, London, UK, 2012.
- [19] P. L. Bishop, “Pollution Prevention: Fundamentals and practice,” McGraw-Hill, 1. baskı. Singapore, 2000.
- [20] P. C. Bekker, “A life-cycle approach in building,” *Building and Environment*, sayı 17(1), ss. 55–61, 1982.
- [21] *Environmental management- Life cycle assessment- Principles and framework*, ISO 14040, 2006.
- [22] SETAC. *Guidelines for Life-cycle Assessment: A Code of Practice*. Portugal: Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993.
- [23] SAIC, “Life cycle assessment: principles and practice.” Scientific Applications International Corporation, EPA, A.B.D., Tech. Rap. 68-C02-067, 2006.
- [24] D. R. Tobergte, & S. Curtis, *ILCD Handbook: General Guide for Life Cycle Assessment-Detailed Guidance*, 1. baskı, Ispra, İtalya: European Union, 2010.
- [25] *Product Category Rule for Type III environmental product declaration of construction products to EN 15804*, BRE., 2012, ss. 1–43.
- [26] G. N. Demirer, *Yaşam Döngüsü Analizi*, 1. Baskı, Bölgesel Çevre Merkezi- REC, Ankara, Türkiye, 2011.
- [27] E. Özgan, “Kalıcı konutlarda izolasyon maliyetlerinin incelenmesi, Düzce örneği,” *Teknoloji*, sayı 10(4), ss. 267-276, 2007.

- [28] E. Özgan, T. Kap, & H. Arslan, “Düzce ili kalıcı konutlarında yapısal problemlerin çok yönlü klinik incelenmesi,” *Ist International Vocational and Technical Education Technologies Congress*, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005, ss.1-10.
- [29] *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*, Türk Standartlar Enstitüsü, TS 825, 2008.
- [30] J.D. Kneifel, A.L. Greig, P. Lavappa, & B. Polidoro, “Building for Environmental and Economic Sustainability,” *(BEES) Online 2.1 Technical Manual*, ABD, Rep. 2032rev2, 2021.
- [31] IBM SPSS Statistics V22, **Document number:** 313621, (2021). [Online]. Erişim: <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-22>
- [32] D. Üçer, “Life cycle assessment of masonry wall types using simulation,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [33] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), *T.C. Resmi Gazete*, Sayı:30364, 10 Mart 2018.
- [34] Bre Global. (2016, Eylül). *BREEAM in use*. [Online]. Erişim: https://tools.breeam.com/filelibrary/BREEAM_Brochure.pdf
- [35] *LEED rating System*. [Online]. Erişim: https://www.usgbc.org/leed_
- [36] Green Star. *GBCA, Green Building Council Australia*. [Online]. Erişim: <https://new.gbca.org.au/green-star/rating-system/>
- [37] DGNB. *DGNB certification for building*. [Online]. Erişim: https://www.dgnb.de/en/certification/buildings_
- [38] Çedbik. *Çevre dostu yeşil binalar*. [Online]. Erişim: <https://www.cedbik.org/>
- [39] Binalar ve Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 31864, 12 Haziran 2022.
- [40] T.G. Taygun, “Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi,” Doktora Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı/Bina Bilgisi Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.

- [41] B.A. Gültekin, & G. Çelebi, “Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sayı 3, ss. 1-36, 2016.
- [42] N.B. Yıldız, “Cam Elyaf Takviyeli Beton (Gfrc) Cephe Panelleri İçin Yaşam Döngü Değerlendirmesi (Ydd) Yöntemiyle Bir Sürdürülebilirlik Çerçevesi Geliştirilmesi,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinler arası Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2017.
- [43] NIST. *BEES Online 2.1*. [Online]. Erişim: <https://ws680.nist.gov/BEES2/Category/Index>
- [44] B.A. Gültekin, “Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık ABD, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [45] K. S. Öztaş, “Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi,” Doktora Tezi, Mimarlık / Yapı Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [46] N. Akın, “Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Seçilen Bir Modelin Tuğla Örneği Üzerinden İrdelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık / Yapı Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [47] *Enviromental managment – Life cycle assesment – Principles and framework*, ISO 14040, Tecnical Committee: ISO/TC 207/SC 5 Life Cycle assesment, 2006.
- [48] *Enviromental managment – Life cycle assesment - Requirements and guidelines*. ISO 14044, Technical Committee: ISO/TC 207/SC 5 Life cycle Assessment, 2006.
- [49] P. Robert, H. Charette, & E. Marshall, “ASTM Unifomat II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis,” Concordia University, Montreal, Canada, 1999.
- [50] R.E. Moreno, L. Valsasina, D. Fitzgerald, F. Brunner, C. Vadenbo, C. Bauer, G. Bourgault, A. Symeonidis, & G. Wernet “Documentation of Changes Implemented In The Ecoinvent Database,” *Ecoinvent*, sayı 3(4), ss. 1-42, 2017.

- [51] Ecoinvent. *Ecoinvent v3.4*. [Online]. Erişim: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-4/>
- [52] A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata J. Sluiter, D. Templeton & Crocker, D., “Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass Laboratory Analytical Procedure (LAP),” NREL, A.B.D., Rep. TP-510-42618, 2012.
- [53] A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton, & D. Crocker. (2012, 3 Ağustos). *Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass*. http://www.nrel.gov/biomass/analytical_procedures.html
- [54] *U.S. Environmental Protection Agency*. [Online]. Erişim: <https://www.epa.gov/>
- [55] *Global EPD Programme for publication of ISO14025 and 15804 compliant EPDs*. [Online]. Erişim: <https://www.environdec.com/about-us/the-international-epd-system-about-the-system>
- [56] J. Bare, D. Young, S. QAM, M. Hopton, & S. A. B. Chief, “Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts (TRACI),” EPA, A.B.D., Rep. 12/554, 2012.
- [57] UL solutions. *Product Category Rules*. [Online]. Erişim: <https://www.ul.com/services/product-category-rules-pers>
- [58] M. Ryberg, (2014). *Updated US and Canadian Normalization Factors for TRACI2.1. Clean Techn Environ Policy*, 16(329). [Online]. Erişim: <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0629-z>
- [59] IPCC. (2013). *Climate Change 2013 The physical science basis*. [Online]. Erişim: <https://www.ipcc.ch/>. Background data based on IPCC, 2013.
- [60] EPA. (2008, 8 Şubat). *Tool for reduction and Assessment of chemicals and other Environmental impacts (TRACAI)*. [Online]. Erişim: <https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>
- [61] J. C. Bare, *Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI), Version 2.1- User’s Manual*, A.B.D., EPA/600/R-12/554, 2012.

- [62] J. C. Bare, G. A. Norris, D. W. Pennington, & T. McKone, “ TRACI – The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts,” *Journal of Industrial Ecology*, sayı 6(3), ss. 49-78, 2003.
- [63] J. Bare, *TRACI 2.0: The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts 2.0 Clean Technologies and Environmental Policy*, A.B.D., EPA/13(5), 2011.
- [64] NSCEP. (2012). *Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI) Version 2.1 User's Guid*. [Online]. Erişim: <https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>
- [65] Universiteit Leiden. *Centre for environmental science (CML)*. [Online]. Erişim: <https://www.universiteitleiden.nl/en/science/environmental-sciences>
- [66] A. Edelen, T. Hottle, & S. Cashman, “The federal LCA commons elementary flow list: background, approach, description and recommendations for USE,” Washington DC, A.B.D., EPA/600/R-19/092, 2019.
- [67] Department of toxic substance control. [Online]. Erişim: <https://dtsc.ca.gov/caltox/>
- [68] S. Humbert, A. D. Schryver, X. Bengoa, M. Margni, & O. Jolliet, *IMPACT 2002+: User Guide Draft for version Q2.21*, Quantis, A.B.D., 2014.
- [69] R.K. Rosenbaum, “USEtox-the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact Assessment,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, sayı 13, ss. 532-546, 2008.
- [70] R.J.N. Frischknecht, H.J. Althaus, G. Doka, R. Dones, R. Hischier, S. Hellweg, S. Humbert, M. Margni, T. Nemecek, & M. Spielmann, “Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0.” Ecoinvent, Switzerland, Rep. 3, 2007.
- [71] J. Bare, *User’s Manual: Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts (TRACI) version 2.1*, EPA, A.B.D., 2012.
- [72] J. Bare, D. Young, S. QAM, M. Hopton, & S. A. B. Chief, *Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts (TRACI)*, EPA, A.B.D., 2012

- [73] M. A. J. Huijbregts, Z. J. N. Steinmann, P. M. F. Elshout, G. Stam, F. Verones, M. Vieira, & R. Zelm, “ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level,” *Int J Life Cycle Assess, RIVM Report, c.* 2016-0104-a, sayı 22(138), ss. 1-201, 2016.
- [74] A. Boulay, J. Bare, L. Benini, M. Berger, M. J. Lathuilliere, A. Manzardo, ... & S. Pfister, “The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE), sayı 23(368), ss. 368-378, 2018.
- [75] H. Levin, “Best Sustainable Indoor Air Quality Practices in Commercial Buildings,” *Third International Green Building Conference and Exposition*, Gaithersburg, Maryland (MD), A.B.D., 1996, ss. 135-158.
- [76] Universiteit Leiden. *CML-IA characterization factors*. [Online]. Erişim: <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>
- [77] V. Subramanian, W. Ingwersen, C. Hensler, & H. Collie, “Comparing product category rules from different programs: learned outcomes towards global alignment,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, sayı 17(7), ss. 892-903, 2012.
- [78] NSF International, *Flooring: Carpet, Resilient, Laminate, Ceramic, Wood Version 2. Retrieved from*. NSB 14-01, Michigan, A.B.D., 2014.
- [79] NSF International, *Architectural Coatings*, NFS/ANSI 342, Michigan, A.B.D., 2017.
- [80] UL Environment, (2018b), *Part B: Building Envelope Thermal Insulation EPD Requirements*, ABD, 2018.
- [81] UL Environment, (2018-a), *Part A: Life Cycle Assessment Calculation Rules and Report Requirements*, ABD, 2018.
- [82] FPInnovations, *Product Category Rules for North American Gypsum Boards FPInnovations – Gypsum PCR-2013: v1.*, 2013.
- [83] UL Environment, *Cladding System Products*, 2015.

- [84] J. Bare, T. Gloria, & G. Norris, "Development of the method and US normalization database for life cycle impact assessment and sustainability metrics," *Environmental science & technology*, sayı 40(16), ss. 5108-5115, 2006.
- [85] M. Ryberg. (2014). *Updated US and Canadian normalization factors for TRACI 2.1. Clean Techn Environ Policy*, 16(329). [Online]. Erişim: <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0629-z>
- [86] CIA. (2018). *The World Factbook- Geography: US- Area: Land*. [Online]. Erişim: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/united-states/>
- [87] EIA. (2018). *Table 1.1 Primary Energy Overview. Monthly Energy Review*. [Online]. Erişim: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/>
- [88] USGS. (2018). *Estimated Use of Water in the United States in 2015. Retrieved from Water Availability and Use Science Program*. [Online]. Erişim: <https://doi.org/10.3133/cir1441>
- [89] EPA. *U.S. EPA. Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines And Principles. U.S. Environmental Protection Agency*, Washington, DC, EPA/600/SR-92/245, 1993.
- [90] EPA. (1997). *Brick and Structural Clay Product Manufacturing Volume I: Section 11.3, AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. [Online]. Erişim: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s03.pdf>:
- [91] *Standard Practice for Applying the Analytic Hierarchy Process Multiattribute Decision Analysis of Investments Related to Buildings and Building Systems*, ASTM 2011 Designation E1765-11., 2011.
- [92] T.P. Gloria, B.C. Lippiatt, & J. Cooper, "Life-Cycle Impact Assessment Weights to Support Environmentally Preferable Purchasing in the United States," *Environmental Science & Technology*, sayı 41(21), ss. 7551-7557, 2007.
- [93] *Standard Practice for Applying Analytical Hierarchy Process (AHP) to Multiattribute Decision Analysis of Investments Related to Projects, Products, and Processes*, ASTM 2016b Designation E1765-16, 2016.
- [94] S. Fuller, & S. Petersen, *Life-Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program, 1995 Edition*. NIST handbook, 1996, ss. 135.
- [95] *Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems*, ASTM 2017 Designation E917 – 17, 2017.

- [96] P. Lavappa, & J. Kneifel, *Energy Price Indices and Discount Factors for Life-Cycle Cost Analysis*. Annual Supplement to NIST Handbook (NISTIR 85-3273-33), 2018, ss. 135.
- [97] OIRA. (2011). *Regulatory Impact Analysis: A Primer*. [Online]. Erişim: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/omb/inforeg/regpol/circular-a-4_regulatory-impact-analysis-a-primer.pdf
- [98] OMB. (2003). *Circular A-4*. [Online]. Erişim: <https://www.whitehouse.gov/sites/whitehouse.gov/files/omb/circulars/A4/a-4.pdf>
- [99] OMB. (2017). *Report of the President's Economic Advisors, Analytical Perspectives*. Retrieved from. [Online]. Erişim: <https://www.whitehouse.gov/omb/budget/analytical-perspectives/>
- [100] S. Wright, A. Smithers, P. Warburton, G. Pepper, J. Goldberg, H. Brodie, & R. Napier, (2011). *Practical History of Financial Markets*. [Online]. Erişim: <https://www.ebsglobal.net/EBS/media/EBS/PDFs/Practical-History-Financial-MarketsCourse-Taster.pdf>.
- [101] NAS. (2017). *Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide*. [Online]. Erişim: <http://nap.edu/24651>.
- [102] A. Alberini, & A. Chiabai, "Discount Rates in Risk Versus Money and Money Versus Money Tradeoffs. Risk Analysis," *Wiley Online Library*, sayı 27(2), ss. 483-498, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00899.x>
- [103] T. Cameron, & G. Gerdes, "Eliciting Individual-Specific Discount Rates." *Second World Congress of Environmental and Resource Economists Paper*, Monterey, CA., 2002.
- [104] M. Moore, & W. Viscusi, "Models for estimating discount rates for long-term health risks using labor market data," *Journal of Risk and Uncertainty*, sayı 3(4), ss. 381-401, 1990.
- [105] R. Scharff, & W. Viscusi, "Heterogeneous rates of time preference and the decision to smoke" *Economic Inquiry*, sayı 49(4), ss. 959-972, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1465-7295.2009.00191.x>
- [106] J. Warner, & S. Pleeter, "The Personal Discount Rate: Evidence from Military Downsizing Programs," *The American Economic Review*, sayı 91(1), ss. 33-53, 2001.

- [107] Technical Support Document: Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, *Technical update of the social cost of regulatory impact analysis*, A.B.D., 2016, ss. 35.
- [108] *U.S. Official Inflation Data, \$1,000 in 2007 → 2018*. [Online]. Erişim: <https://www.officialdata.org/us/inflation/2007?endYear=2018&amount=1000>
- [109] Sandbag, *European Union Allowance (EUA) Price- April 2008 to September*, 2018.
- [110] World Bank. (2018) *Carbon Pricing Dashboard*. [Online]. Erişim: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>
- [111] CDP. (2016). *Embedding a carbon price into business strategy*. [Online] Erişim: https://www.climateaction.org/images/uploads/documents/CDP_Carbon_Price_report_2016.pdf
- [112] World Bank Group. *State and Trends of Carbon Pricing 2018*. Washington, DC, A.B.D., 2018, ss62.
- [113] Birimfiyat.net. [Online] Erişim: <https://www.birimfiyat.net/y.27.501-01-250-350-kg-cimento-dozlu-kaba-ve-ince-harcla-siva-yapilmasi-dis-cephe-sivasi>
- [114] Birimfiyat.net. [Online] Erişim: <https://www.birimfiyat.net/15.335.1001-3-cm-kalinlikta-yuzeyi-puruzlu-veya-puruzlu-kanalli-extrude-polistren-levhalar-xps-200-kpa-basinc-dayanimli-ile-dis-duvarlarda-distan-isi-yalitimi-ve-uzerine-isi-yalitim-sivasi-yapilmasi-mantolama>
- [115] Birimfiyat.net. [Online] Erişim: <https://www.birimfiyat.net/18.031-7-mk-24x24x23-5-cm-dusey-delikli-hafif-tugla-ile-duvar-yapilmasi-ts-4377>
- [116] Birimfiyat.net. [Online] Erişim: <https://www.birimfiyat.net/27.528-2-siva-uzerine-saten-alcı-kaplama-yapilmasi>
- [117] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. *2023 İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları*. Ankara: Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, 2023, ss. 623.
- [118] Tuğla duvar. [Online]. Erişim: https://www.google.com/search?q=tuğla+duvar&tbm=isch&ved=2ahUKEwjSmI-3u5CBAxWEtKQKHW0dCNcQ2-cCegQIABAA&oq=tuğla+duvar&gs_lcp=CgNpbWcQAzIFCAAQgAQyBQgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQyBQgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQyBQgAEIAEMgUIABCABDIFCAAQgAQ6CggAEIoFELEDEEM6CAgAEIA

EELEDOgcIABCKBRBDULoIWK4TYOweaABwAHgAgAHZAogBg6SAQUy
LTYuMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=b4v1ZJ
KINYTpkgXtuqC4DQ&bih=813&biw=1707&rlz=1C1GCEA_enTR1030TR103
0

- [119] CDP, *Embedding a carbon price into business strategy*, A.B.D., CDP Nort Amerika, 2016, ss. 25.
- [120] Beton Perde Duvar. [Online]. Erişim: https://www.google.com/search?q=beton+perde+duvar&tbm=isch&ved=2ahUKWwHr4PiBAXVuyAIHHSuADusQ2-cCegQIABAA&oq=beton+perde+duvar&gs_lcp=CgNpbWcQAzIFCAAQgAQyBQgAEIAEMgYIABAIEB4yBggAEAgQHjoHCAAQigUQQzoGCAAQBxAeOggIABAIEAcQHICkCFj2EGCTJGgAcAB4AIABgQWIAbkOkgELMC40LjE uMS4wLjGyAQCgAQGqAQtnD3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=TjksZaXDJ-6Qi-gPq4C62A4&bih=813&biw=1707&rlz=1C1GCEA_enTR1030TR1030
- [121] Volkan Atabey. *Gaz beton nedir? Nasıl üretilir.* [Online]. Erişim: <https://volkanatabey.com.tr/gaz-beton-nedir-nasil-uretilir/120.>
- [122] *Kâgir birimler- Özellikler- Bölüm 4: Gaz beton kâgir birimler*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 771-4:2011+A1, 2015.
- [123] *Kâgir harcı-Özellikler-Bölüm 2: Kâgir harcı*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 998-2, 2018.
- [124] *Gaz beton.* [Online]. Erişim: https://www.google.com/search?q=gaz+beton&sca_esv=561292281&tbm=isch&sxsrf=AB5stBjLC7E0CIvH2ctE5FxFxGUkRxyPO0Yg:1693398754609&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwiWyz5sYSBAXWZVPEDHSRWCqsQ_AUoAXoECAMQAw&biw=1517&bih=687&dpr=0.9
- [125] *Kâgir birimler-Özellikleri- Bölüm 3: Beton kâgir birimler (Yoğun ve hafif agregalı)*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 771-3+A1. 2016.
- [126] *Bims Briket.* [Online]. Erişim: <https://www.google.com/search?q=bims+briket&tbm=isch&hl=tr&sa=X&ved=2ahUKEwiLgeulxfOBAXwzQIHHCrxAJIQBXoECAEQTQ&biw=833&bih=685>
- [127] *Standard Specification for Application of Portland Cement-Based Plaster*, ASTM-C926-94, 1994.

- [128] *Environmental Product Declaration for Portland Cement*, ASTM International (2016-a), 2016.
- [129] *Environmental Product Declaration for Masonry Cements*, ASTM International (2016-b), 2016.
- [130] Brick Industry Association. (2009). *Brick Industry Association | TN 48 | Sustainability and Brick*. [Online]. Erişim: <https://www.gobrick.com/media/file/48-sustainability-and-brick.pdf>
- [131] Brick Industry Association. (2017). *BIA Technical Notes*. [Online]. Erişim: <https://www.gobrick.com/resources/technical-notes>
- [132] Vikipedi. [Online]. Erişim: <https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96trofikasyon>



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İlknur ÖZGAN

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri	Düzce Üniversitesi	2023
Y. Lisans	Yapı Anabilimdalı	Düzce Üniversitesi	2010
Lisans 2	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans 1	Yapı Öğretmenliği	Gazi Üniversitesi	1997
Lise	Yapı Ressamlığı	Zincirlikuyu İsov Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	1992

İlknur Özgan, Zincirlikuyu İsov Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Yapı Ressamlığı Bölümünden mezun olmuştur. 1997 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Bölümünden Yapı Öğretmeni olarak mezun olmuştur. Lise ve Üniversite yılları ve Üniversite mezuniyeti sonrasında bir süre teknik personel olarak İstanbul'da Mimari proje ofislerinde çalışmıştır. 1998 yılında öğretmen olarak Millî Eğitim Bakanlığında göreve başlamıştır. Ankara, Yozgat ve Düzce'de öğretmenlik yapmış olup halen Düzce BİST Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi İnşaat Teknolojisi Alanında görevine devam etmektedir. Akademik çalışmalarına devam eden İlknur Özgan 2010 yılında yüksek lisansını yapmış, 2018 yılında inşaat mühendisliği bölümünden inşaat mühendisi olarak mezun olmuş ve doktora çalışmalarına da devam etmektedir. Uluslararası hakemli dergi, uluslararası sempozyumlar ve uluslararası kitap bölümü yazarlığı olmak üzere 6 adet

yayını bulunmaktadır. 2011 yılında Japon JIKA ve MEB arasında yapılan protokol ile Okul Tabanlı Afet Eğitimi (OTAEP) projesi kapsamında Japon-Türk uzmanlardan Formatör Öğretmen Yetiştirme Kursu eğitimleri almıştır. 2022 yılında Millî Eğitim Bakanlığının Erasmus+ projesi kapsamında proje okulu olan Düzce BİST Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesini temsilen Avusturya'nın Viyana şehrinde yaklaşık 1 ay süre ile sahada uygulamalı olarak inşaat imalat işleri ile ilgili eğitim, uygulama ve gözlem faaliyetlerinde bulunmuştur. Yabancı dili İngilizce olan İlknur Özgan evli ve iki çocuk annesidir.

YAYINLAR

- İ. Özgan, A. C. Apay, & E. Özgan, ““Bees” Yaşam Döngü Değerlendirme Yönteminin İncelenmesi,” *8. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 2022.
- İ. Özgan, A. C. Apay, & E. Özgan, ““Bees” Yaşam Döngü Değerlendirme İçin Bir Uygulama,” *8. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 2022.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve basılan bildiriler

- H. Bayraktar, İ. Özgan & S. Gül, “An Example Application For Earthquake Risk Analysis And Earthquake Scenario, 2nd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management,” *Sakarya University Culture and Congress Center*, Sakarya, Türkiye, 2018, ss. 715-725.
- T. Kap, E. Özgan, M. Uzunoğlu, & İ. Özgan “Investigation of Heat Insulation Cost In Terms Of Energy Efficiency in Housing,” *The 3rd International Conference on Sustainable Development*, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 2017.

Uluslararası hakemli dergide yayınlanan makaleler

- Özgan İ, & Özgan E., “Taş Unu Miktarının Beton Basınç Dayanımına Etkisinin İstatistiksel İncelenmesi,” *Engineering Science*, cilt: 14, sayı: 4, ss. 218-225, 2019.

Uluslararası kitaplar veya kitaplarda bölümler

- Özgan E, & Özgan İ. “Inferences From the Covid-19 Pandemic, A Multidisciplinary Research, The Effects of the Covid-19 Pandemic Process on the Construction Sector,” *Gazi Kitabevi*, 2020, 1. baskı, ss. 99-118.