

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN ÇOK
KRİTERLİ KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ
Tuğba ERZURUM

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Önder Halis BETTEMİR

ŞUBAT, 2024

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN ÇOK
KRİTERLİ KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Tuğba ERZURUM
(36193621027)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Önder Halis BETTEMİR

ŞUBAT, 2024

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Doktora çalışmasının her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan; yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez jürime katılan ve değerli görüş ve yorumları ile çalışmalarına destek veren Sayın Prof. Dr. Kâzım TÜRK'e ve Sayın Prof. Dr. Paki TURĞUT'a samimiyetle teşekkür ederim.

Çalışmamın gelişmesine öneri, bilgi ve yorumları ile katkıda bulunan ve tez savunma jüri üyelerim olan Sayın Prof. Dr. Ali Murat TANYER'e ve Sayın Doç. Dr. Çağla AKGÜL'e içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışmamın internet uygulaması geliştirme safhasında bilgi ve tecrübeleri ile bana her daim yardım eden kıymetli kardeşim Ersin ERZURUM'a, varlığıyla motivasyonumu arttıran ve bana her konuda yardım eden değerli kardeşlerime 'İrem ERZURUM ve Sude Naz ERZURUM',

Hayatım boyunca olduğu gibi çalışmalarım sırasında da beni sabırla destekleyen, yanımda olan, çalışmalarına katkıda bulunan ve bu zorlu süreçte çoğu zaman ihmal etmek zorunda kaldığım canım aileme, özellikle anne ve babama sevgi, saygı ve şükranlarımı sunar,

sonsuz bir minnetle teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında analizlerde kullanılan İnönü Üniversitesi OSB Meslek Yüksekokulu binalarının proje ve verilerinin temininde sağladığı destekten dolayı İnönü Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'na teşekkür ederim.



Annem Hüsne Erzurum'a
ve
Babam Mahmut Erzurum'a

ONUR SÖZÜ

Doktora tezi olarak sunduğum “Yapıların Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi için Çok Kriterli Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Tuğba ERZURUM

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik Kavramı.....	3
1.2 İnşaat Sektörünün Çevresel Etkisi.....	5
1.3 Tezin Amacı	8
1.4 Tezin Kapsamı	9
1.5 Metot	10
1.6 Tez Düzeni	14
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	15
2.1 Yaşam Döngüsü Analizi.....	15
2.1.1 Yaşam döngüsü analizi yöntemi	17
2.1.2 Yaşam döngüsü analizi performans göstergeleri.....	18
2.1.3 YDA temelli değerlendirme sistemleri.....	21
2.2 Çevresel Ürün Beyanları: EPD	23
2.2.1 EPD belgesinin içeriği ve EPD programları.....	23
2.3 ICE Veri Tabanı	27
2.4 Isıtma Enerjisi İhtiyacı: TSE 825	29
2.5 İlgili Çalışmalar.....	30
2.6 Literatüre Eleştirel Bakış.....	43
3. YÖNTEM	47
3.1 Çalışma Aşamaları	47
3.2 Veri Tabanı Oluşturma.....	51
3.2.1 Veri derleme	51
3.3 Metraj İşlemleri ve Çevresel Etki Analizi için Elektronik Tablo Tabanlı Uygulamanın Oluşumu	62
3.3.1 Yapı elemanı boyutlarının ve özniteliklerinin çekilmesi ile metraj hesabı	62
3.3.2 İş tariflerine alternatiflerin oluşturulması ve atanması.....	64
3.3.3 İş kalemlerinin metraj, maliyet ve çevresel etki hesabını yapan elektronik hesap tablosu	68
3.4 Yaşam Döngüsü Analizi.....	71
3.4.1 Yapı malzemesi tabanlı çok kriterli çevresel etki ve maliyet azaltma analizi	71
3.4.2 Yapı kabuk türü tabanlı çevresel etki ve maliyet azaltma analizi	74
3.5 Yapıların Isı Kaybı ve Enerji İhtiyacı Hesaplama Yöntemi.....	78
3.6 Yapıların Çevresel Etkisini ve Maliyetini Hesaplamak için Geliştirilen Araç.....	81
4. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ	86
4.1 ICE, EPD Veri Kaynaklarının Karşılaştırması.....	86
4.2 Monte Carlo Analizi.....	89
5. ANALİZ EDİLEN YAPILARIN BİLGİLERİ	91
5.1 Derslik Yapısı.....	91
5.2 Konut Yapısı	95
6. ANALİZLER.....	98
6.1 Farklı Veri Kaynaklarının Karşılaştırması	98

6.1.1 EPD-ICE karşılaştırması	98
6.1.2 EPD-EPD karşılaştırması	112
6.2 Yapıların Yaşam Döngüsü Analizi	117
6.2.1 Çevresel etki göstergeleri ve maliyet hesabı	117
6.2.2 Yapının ısı kaybı ve enerji ihtiyacı hesabı	121
6.2.2.1 Derslik yapısı enerji ihtiyacı hesabı	121
6.2.2.2 Konut yapısı enerji ihtiyacı hesabı	128
6.3 Çok Kriterli Çevresel Etki ve Maliyet Azaltma Analizleri	131
6.3.1 Yapı malzemesi tabanlı çok kriterli çevresel etki ve maliyet azaltma analizi	131
6.3.1.1 Derslik yapısının ‘A1-2-3-5’ yaşam dönemine göre çok kriterli biçimde çevresel etkilerinin azaltılması	140
6.3.1.2 Derslik yapısının ‘A1-2-3-5/B3-4-5’ yaşam dönemine göre çok kriterli biçimde çevresel etkilerinin azaltılması	142
6.3.1.3 Konut yapısının ‘A1-2-3-5’ yaşam dönemine göre çok kriterli biçimde çevresel etkilerinin azaltılması	144
6.3.1.4 Konut yapısının ‘A1-2-3-5/B3-4-5’ yaşam dönemine göre çok kriterli biçimde çevresel etkilerinin azaltılması	146
6.3.2 Yapı kabuk türü tabanlı çevresel etki ve maliyet azaltma analizi	155
6.4 Geliştirilen Uygulama ile Analiz.....	171
7. SONUÇLAR.....	181
7.1 Tezin Literatüre Katkısı	181
7.2 Tartışma.....	188
7.3 Nihai Görüş	199
7.4 Gelecekteki Çalışmalar	201
KAYNAKLAR	204
EKLER	217
ÖZGEÇMİŞ.....	271

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 : YDA sonuçlarının orta ve son nokta yaklaşım sınıfları (Öztaş, 2014).....	18
Çizelge 2.2 : Çevre etiketi tipleri ve özellikleri (Curran, 2015).	22
Çizelge 2.3 : EPD belgesinin çevresel etki kategorisini temsil eden şablon.....	27
Çizelge 2.4 : EPD belgesinin kaynak kullanımı kategorisini temsil eden şablon.....	27
Çizelge 2.5 : EPD belgesinin atık kategorisini temsil eden şablon.....	27
Çizelge 2.6 : İlgili literatür taramasının özeti.	46
Çizelge 3.1 : EPD belgesi çevresel etki veri örneği (Url-1).....	54
Çizelge 3.2 : Oluşturulan veri sayfasının model gösterimi.....	54
Çizelge 3.3 : EPD belgesinden alınan verilerin işlenebilir forma getirilmesi.....	58
Çizelge 3.4 : Maliyet ve çevresel etki verilerinin poz numaralarına atanması.	58
Çizelge 3.5 : Birim fiyat analizi.....	61
Çizelge 3.6: Poz tariflerinin oluşturulması.	65
Çizelge 3.7 : Maliyet-EE-EC ilişkisinin temsili gösterimi.	77
Çizelge 5.1 : Derslik yapısı metraj listesi ve poz numaraları.	94
Çizelge 5.2 : Konut yapısı metraj listesi ve poz numaraları.	97
Çizelge 6.1 : Analizlerde kullanılan EPD belgelerinin temsil ettiği coğrafi kapsam.....	99
Çizelge 6.2 : Yapı malzemeleri için derlenen ek EPD belgelerinin sayısı.....	100
Çizelge 6.3 : Derslik yapısı malzemeleri için ICE-EPD verilerinin değişim yüzdeleri.....	102
Çizelge 6.4 : Konut yapısı malzemeleri için ICE-EPD verilerinin değişim yüzdeleri.....	107
Çizelge 6.5 : Derslik binası için EPD verilerinin ortalaması ile ICE verilerinin çokluk dağılımı.	110
Çizelge 6.6 : Derslik binası YDA’da kullanılan EPD verileri ile ICE verileri arasındaki çokluk dağılımı.	110
Çizelge 6.7 : Konut binası için EPD verilerinin ortalaması ile ICE verilerinin çokluk dağılımı... ..	111
Çizelge 6.8 : Konut binası YDA’da kullanılan EPD verileri ile ICE verileri arasındaki çokluk dağılımı.	111
Çizelge 6.9 : Derslik yapısı Monte Carlo Simülasyonu EE analizi sonuçları.....	114
Çizelge 6.10 : Derslik yapısı Monte Carlo Simülasyonu EC analizi sonuçları.	114
Çizelge 6.11 : Konut yapısı Monte Carlo Simülasyonu EE analizi sonuçları.	115
Çizelge 6.12 : Konut yapısı Monte Carlo Simülasyonu EC analizi sonuçları.	116
Çizelge 6.13 : Uygunluk analizi sonucu.	117
Çizelge 6.14 : Analiz edilen yapıların başlangıç tasarımlarına göre hesap kriterlerinin sonuçları.....	118
Çizelge 6.15 : Isı kaybı ve enerji ihtiyacı hesabı için gereken temel veriler.	122
Çizelge 6.16 : Duvar katmanlarını oluşturan elemanları temsil eden kısaltmalar.	123
Çizelge 6.17 : Dış cephe elemanları, kesitler, yapı malzemeleri ve kalınlıkları.....	124
Çizelge 6.18 : Dış cephe elemanları, kesitler, yapı malzemeleri ve kalınlıkları.....	124
Çizelge 6.19 : Derslik yapısının özgül ısı kaybı hesaplama çizelgesi.	126
Çizelge 6.20 : Derslik yapısının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplama çizelgesi.	127
Çizelge 6.21 : Konut yapısının özgül ısı kaybı hesaplama çizelgesi.	129
Çizelge 6.22 : Konut yapısının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplama çizelgesi.....	130
Çizelge 6.23 : Derslik binası GWP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri (A1-2-3-5 dönemi).	133
Çizelge 6.24 : Derslik binası GWP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri (A1-2-3-5/B3-4-5 dönemi).	134
Çizelge 6.25 : Derslik yapısının çevresel etki ve maliyet kriterlerini azaltmak için oluşturulan alternatif iş kalemleri ve birim değerleri.....	136

Çizelge 6.26 : Konut yapısının çevresel etki ve maliyet kriterlerini azaltmak için oluşturulan alternatif iş kalemleri ve birim değerleri.	138
Çizelge 6.27 : Derslik yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5) (A1-2-3-5).	142
Çizelge 6.28 : Derslik yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5/B3-4-5) (A1-2-3-5).	142
Çizelge 6.29 : Derslik yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5) (A1-2-3-5/B3-4-5).	143
Çizelge 6.30 : Derslik yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5/B3-4-5)(A1-2-3-5/B3-4-5).	143
Çizelge 6.31 : Konut yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5) (A1-2-3-5).	145
Çizelge 6.32 : Konut yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5/B3-4-5) (A1-2-3-5).	145
Çizelge 6.33 : Konut yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5) (A1-2-3-5/B3-4-5).	146
Çizelge 6.34 : Konut yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5/B3-4-5) (A1-2-3-5/B3-4-5).	146
Çizelge 6.35 : Maliyet ve AP kriterlerini azaltan alternatif iş kalemleri ve birim değerleri.	148
Çizelge 6.36 : Revize edilen iş kalemi sayısına ve yaşam dönemlerine göre yapıların toplam iyileşme miktarları.	150
Çizelge 6.37 : Konut yapısının yeni tasarımlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisi.	151
Çizelge 6.38 : Konut yapısının A1-2-3-5 ve B6 yaşam dönemi toplam iyileşme oranı.	152
Çizelge 6.39 : Konut yapısının A1-2-3-5/B3-4-5 ve B6 yaşam dönemi toplam iyileşme oranı.	153
Çizelge 6.40 : Derslik yapısının yeni tasarımlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisi.	153
Çizelge 6.41 : Derslik yapısının A1-2-3-5 ve B6 yaşam dönemi toplam iyileşme oranı.	154
Çizelge 6.42 : Derslik yapısının A1-2-3-5/B3-4-5 ve B6 yaşam dönemi toplam iyileşme oranı.	154
Çizelge 6.43 : Derslik yapısı için oluşturulan yapı malzemesi alternatifleri.	157
Çizelge 6.44 : Derslik yapısı için oluşturulan yapı malzemesi alternatiflerinin poz numaraları.	158
Çizelge 6.45 : Derslik yapısı için oluşturulan alternatiflerin ısı yalıtım değerleri.	158
Çizelge 6.46 : Derslik yapısı için oluşturulan alternatiflerin enerji ihtiyacı analizi sonuçları.	159
Çizelge 6.47 : Derslik yapısı yatırım-karbon-enerji ilişkisi.	161
Çizelge 6.48 : Konut yapısı için oluşturulan alternatifler.	165
Çizelge 6.49 : Konut yapısı için oluşturulan yapı malzemesi alternatiflerinin poz numaraları.	166
Çizelge 6.50 : Konut yapısı için oluşturulan alternatiflerin yalıtım değerleri.	166
Çizelge 6.51 : Konut yapısı için oluşturulan alternatiflerin enerji ihtiyacı analizi sonuçları.	167
Çizelge 6.52 : Konut yapısı yatırım-karbon-enerji ilişkisi.	168

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 : Sürdürülebilir yapım uygulamalarının üç boyutlu kavramsal modeli.	4
Şekil 2.1 : Yaşam döngüsü aşamaları.	26
Şekil 2.2 : Karbon hedeflerine göre projelerin gömülü ve operasyonel karbon oranı modeli.	44
Şekil 3.1 : Çalışmanın genel akış şeması.	50
Şekil 3.2 : Yapıyı oluşturan mahallerin ve malzemelerin boyutlarının girilmesi.	63
Şekil 3.3 : Yapı malzemelerinin ısı değerlerinin elektronik hesap cetveline işlenmesi.	63
Şekil 3.4 : Isı kaybı hesabı formülasyonu.	64
Şekil 3.5 : İş tarifleri için oluşturulan elektronik hesap cetveli sayfası.	67
Şekil 3.6 : Analizlerin yapıldığı elektronik tablo programı.	70
Şekil 3.7 : Yapı malzemesi tabanlı analizin akış şeması.	73
Şekil 3.8 : Duvar katmanları.	79
Şekil 3.9 : YapıCEA uygulamasının oluşum şeması.	82
Şekil 3.10 : SQL veri tabanına eklenen veriler.	83
Şekil 3.11 : YapıCEA uygulamasının ilişkisel veri tabanı diyagramı.	84
Şekil 3.12 : SQL tablo özneteliklerinin oluşturulması.	85
Şekil 5.1 : Malatya OSB Meslek Yüksekokulu blokları.	91
Şekil 5.2 : Derslik yapısı zemin kat planı.	92
Şekil 5.3 : Konut yapısı normal kat planı.	95
Şekil 5.4 : Konut yapısı yan görünüş.	96
Şekil 6.1 : Derslik yapısı EE ve EC korelasyonu.	115
Şekil 6.2 : Konut yapısı EE ve EC korelasyonu.	116
Şekil 6.3 : Derslik yapısı cephe yönleri.	121
Şekil 6.4 : Yapının dış yüzeylerinin numaralandırılması.	122
Şekil 6.5 : Derslik yapısı DG-1 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.	163
Şekil 6.6 : Derslik yapısı DG-2 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.	163
Şekil 6.7 : Derslik yapısı DG-3 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.	164
Şekil 6.8 : Derslik yapısı DG-4 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.	164
Şekil 6.9 : Konut yapısı DG-1 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.	169
Şekil 6.10 : Konut yapısı DG-2 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.	170
Şekil 6.11 : Konut yapısı DG-3 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.	170
Şekil 6.12 : Konut yapısı DG-4 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.	171
Şekil 6.13 : YapıCEA uygulaması kullanıcı arayüzü-1.	173
Şekil 6.14 : YapıCEA uygulaması kullanıcı arayüzü-2.	174
Şekil 6.15 : Poz numarası ile sorgu yapılması.	175
Şekil 6.16 : Kelime ile sorgu yapılması.	176
Şekil 6.17 : YapıCEA uygulaması Derslik yapısı analiz sonuçları-1.	178
Şekil 6.18 : YapıCEA uygulaması Derslik yapısı analiz sonuçları-2.	179

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

LCA	: Life Cycle Assesment- Yaşam Döngüsü Analizi
EPD	: Environmental Product Declaration- Çevresel Ürün Beyanı
YDA	: Yaşam Döngüsü Analizi
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design- Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik
USGBC	: United States Green Building Council – Yeşil Bina Konseyi
ICE	: Inventory of Carbon and Energy
ILCD	: International Reference Life Cycle Data- Uluslararası Referans Yaşam Döngüsü Verileri
UNEP	: United Nations Environment Programme- Birleşmiş Milletler Çevre Örgütü
AGİT	: Avrupa Güvenlik ve İş Birliği Teşkilatı
ISO	: International Organization For Standardization- Uluslararası Standardizasyon Örgütü
SETAC	: The Society of Environmental Toxicology and Chemistry- Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
BRE	: Building Research Establishment
GWP	: Global Warming Potential- Küresel Isınma Potansiyeli
ODP	: Ozone Depletion Potential- Ozon İncelmesi Potansiyeli
AP	: Acidification Potential- Asidifikasyon Potansiyeli
EP	: Eutrophication Potential- Ötrofikasyon Potansiyeli
POCP	: Formation Potential of Tropospheric Ozone Photochemical Oxidants- Fotokimyasal Oksidasyon Oluşma Potansiyeli
ADPE	: Abiotic Depletion Potential for Non-Fossil Resources- Fosil Olmayan Kaynak Kullanım Potansiyeli
ADPF	: Abiotic Depletion Potential for Fossil Resources- Fosil Kaynak Kullanım Potansiyeli
WDP	: Water Deprivation-Su Yoksunluğu
HTP	: Human Toxicity Potential- İnsan Toksisite Potansiyeli
ETP	: Ecotoxicity Freshwater- Ekotoksisite Tatlı Su
PM	: Particulate Matter-Partikül Madde
IR	: Ionising Radiation- İyonlaştırıcı Radyasyon
PERE	: Use of Renewable Primary Energy Excluding Resources Used as Raw Materials-Hammadde Kaynağı Olarak Kullanılmayan Yenilenebilir Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi
PERM	: Use of Renewable Primary Energy Resources Used as Raw Materials-Hammadde Kaynağı Olarak Kullanılan Yenilenebilir Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi
PERT	: Total Use of Renewable Primary Energy Resources- Toplam Yenilenebilir Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi
PENRE	: Use of Non-Renewable Primary Energy Excluding Resources Used as Raw Materials- Hammadde Kaynağı Olarak Kullanılmayan Yenilenemeyen Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi
PENRM	: Use of Non-Renewable Primary Energy Resources Used as Raw Materials- Hammadde Kaynağı Olarak Kullanılan Yenilenemeyen Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi

PENRT	: Total Use of Non-Renewable Primary Energy Resources- Toplam Yenilenemeyen Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi
SM	: Use of Secondary Material- İkincil Malzeme Tüketimi
RSF	: Use of Renewable Secondary Fuels- İkincil Yenilenebilir Yakıt Tüketimi
NSRF	: Use of Non-Renewable Secondary Fuels- İkincil Yenilenemeyen Yakıt Tüketimi
FW	: Use of Net Fresh Water- Net Tatlı Su Tüketimi
YapıCEA	: Yapı Çevresel Etki Analizi Uygulaması
NMVOC	: Non-Methane Volatile Organic Compound- Metan İçermeyen Uçucu Organik Bileşikler
HC	: Hydrocarbons- Hidrokarbonlar
CFC	: Chlorofluorohydrocarbons- Kloroflorohidrokarbonlar
VOC	: Volatile Organic Compounds- Uçucu Organik Bileşikler
Alt	: Alternatif
EE	: Embodied Energy- Gömülü Enerji
EC	: Embodied Carbon- Gömülü Karbon

ÖZET

Doktora Tezi

YAPILARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

TUĞBA ERZURUM

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

272+ XIV sayfa

2024

Danışman: Doç. Dr. Önder Halis BETTEMİR

Çevresel problemler günümüzün en önemli sorunlarından biridir. İnşaat sektörü artan konut taleplerini karşılarken doğanın ekolojik dengesine zarar vermektedir. Yapıların kullanım aşamasının yanı sıra yapı malzemelerinin üretim ve kurulum aşaması da çevreye zarar vermektedir. Bu çalışmanın odaklarından ilki yapıların maliyet ve çevresel kriter değerlerini etkileyen anahtar ön tasarım yaşam döngüsü dönemi ve çevresel kriterin belirlenmesidir. Diğer odak ise yapılarda gömülü ve operasyonel etkiler arasındaki ilişliyi ve yapı kabuğunu değiştirerek bir yapının toplam çevresel etkilerindeki potansiyel azalmanın gömülü ve operasyonel etkiler arasındaki dengesini araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada yapıların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için 7 çevre kriterinden ve 1 maliyet kriterinden oluşan çok kriterli karar destek sistemi geliştirilmiştir. Karar destek sistemi yapının çevresel etkilerini en az revizyonla iyileştiren bir çerçeve sistem sunmaktadır. Hesaplanan çevresel etki göstergeleri: küresel ısınma, asidifikasyon, ötrofikasyon, ozon incilmesi, fotokimyasal oksidasyon, fosil olmayan kaynak kullanım potansiyeli ve fosil kaynak kullanım potansiyelidir. Belirtilen amaç doğrultusunda, yapı projelerinin metraj verilerini yapım tarifleri ile eşleştirerek çevresel performans göstergelerini ve inşaat maliyetini hesaplayan bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen çerçeve sistem sayesinde yapının maliyet ve çevresel performans göstergelerini en çok etkileyen iş kalemleri belirlenerek ve ilgili iş kalemlerine daha düşük çevresel etkiye sahip alternatifler oluşturularak yapının tasarımı güncellenip yapı yeniden analiz edilir. Değişen tasarımın yapının ısıtma enerjisi tüketimi üzerindeki etkisi belirlenerek yapının üretim, kurulum ve kullanım dönemlerindeki çevresel etkilerinin değişimi hesaplanmıştır. Ayrıca yapı kabuğunu oluşturan yapı malzemelerindeki değişimin yaşam döngüsü üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Aynı yapı malzemesi için farklı değerlere ve coğrafi geçerliliğe sahip EPD belgeleri bulunmaktadır. Çevresel etkinin ölçülmesinde yaşam döngüsü analizi ile hazırlanan EPD belgeleri kullanılmış ve EPD belgelerindeki veriler ICE verileri ile karşılaştırılmıştır. Farklı veri kaynaklarının etkisini hesaplamak için yapı malzemelerine farklı kaynaklardan temin edilen EPD belgeleri ile Monte Carlo analizi yapılmış ve sonuçların değişkenlik sınırları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar EPD belgeleri arasında ortalama %10 sapma olduğunu göstermektedir. Yaşam döngüsü analizi hesap sonuçları, geliştirilen çok kriterli karar destek algoritmasının uygulanmasıyla elde edilen yeni yapı

tasarımlarının her bir hesap kriterinde iyileşme sağladığını göstermektedir. Önerilen çok kriterli karar destek sistemi ön tasarım aşamasında planlanan bir yapının her bir hesap kriteri için maliyet ve çevresel etkilerinin dikkate değer bir iyileşme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Yapıların kullanım aşamasında malzemelerin tekrarlı kullanımlarının hesap kriterlerini birim alan için %13-41 arasında artırdığı belirlenmiştir. Analiz edilen yapılarda ön tasarım aşamasında yapıların çevresel etkisini en fazla azaltan kriterler Maliyet ve AP kriterlerini azaltmak için yeniden tasarlanmış yapılardan elde edilmiştir. Bu kriterler malzemedan kaynaklanan çevresel etkileri azaltsa da yapının kullanım dönemindeki ısıtma enerjisinde negatif bir etkiye yol açmıştır. Bunun dışında yapı kabuğunda iyileşme için yapılan yatırımlar birinci derece-gün bölgesinden dördüncü bölgeye doğru daha yüksek net bugünkü değerler sunmuştur. Yalıtım iyileşmesinde en yüksek etki duvar elamanındaki iyileşmeden elde edilmiştir. Yapının kabuğundaki iyileşmenin operasyonel karbondaki azalmaya etkisi birinci bölgeden dördüncü bölgeye gidildikçe arttığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada sunulan veri tabanı, yöntem ve yapılan analizler gelecekte bu alanda yapılacak araştırmalar için bir örnek teşkil edebilecek potansiyel taşımaktadır. Çalışma, yapıların çevresel etkilerini azaltmak için tasarım aşamasında çok kriterli optimizasyon süreci önererek bütüncül bir iyileşmenin elde edilmesini sağlayarak literatüre önemli bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yaşam döngüsü analizi, Çevresel etki azalma için çok kriterli karar destek sistemi, Eko-tasarım, Çevresel ürün beyanı, Isıtma enerjisi hesabı, Sürdürülebilirlik, Ekonomik uygulanabilirlik analizi, Veri analizi, Monte Carlo simülasyonu.

ABSTRACT

Phd. Thesis

DEVELOPING A MULTI-CRITERIA DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF BUILDINGS

TUĞBA ERZURUM

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

272+XIV pages

2024

Supervisor: Assoc. Prof. Önder Halis BETTEMİR

Environmental problems are one of the most important problems of our time. The construction industry harms the ecological balance of nature, while it fulfills the increasing housing demands. In addition to the usage phase of buildings, the production and installation phase of building materials also harms the environment. The main focus of this study is to determine the key preliminary design life cycle period and environmental criteria that affect the cost and environmental criterion values of buildings. The other scope aims to investigate the relationship between embedded and operational impacts in structures and the balance between embedded and operational impacts of the potential reduction in the total environmental impacts of a structure by changing the building envelope. In the study, a multi-criteria decision support system consisting of 7 environmental and 1 cost criteria was developed to evaluate the environmental impacts of buildings. The decision support system offers a framework system that improves the environmental impacts of the building with minimal revision. Calculated environmental impact indicators are: global warming, acidification, eutrophication, ozone depletion, photochemical oxidation, non-fossil resource use potential and fossil resource use potential. In line with the stated purpose, a system has been developed that calculates environmental performance indicators and construction costs by matching the quantity takeoff data of construction projects with construction recipes. Thanks to the developed framework system, the structure is re-analyzed by determining the construction items that most affect the cost and environmental performance indicators of the building, creating alternatives with lower environmental impact for the relevant work items and updating the design of the building. The effect of the design modification on the heating energy requirement of the building was determined and the change in the environmental impact of the building during the production, installation and use periods was calculated. Additionally, the effect of the change in the building envelope on the life cycle was also investigated. EPD documents with different values and geographical validity for the same building material exist. EPD documents prepared with life cycle analysis were used to measure the environmental impact and the data in the EPD documents were compared with

ICE data. In order to calculate the effect of different data sources, Monte Carlo analysis was performed on building materials with EPD documents obtained from different sources and the variability limits of the results were determined. The obtained results show that there is an average of 10% deviation between EPD documents. Life cycle analysis results show that new building designs obtained by applying the developed multi-criteria decision support algorithm provide improvement in each calculation criterion. The proposed multi-criteria decision support system shows that the cost and environmental impacts of a structure planned at the preliminary design stage have a significant improvement potential for each calculation criterion. It has been determined that the repeated use of materials during the usage phase of buildings increases the calculation criteria by 13-41% per unit area. In the analyzed buildings, at the preliminary design stage, the criteria that reduce the environmental impact of the buildings the most were obtained from the structures that were redesigned to reduce the cost and AP criteria. Although these criteria reduce the environmental impacts caused by the material, they have a negative impact on the heating energy of the building during its usage period. Apart from this, the investments made for the improvement of the building envelope provided higher net present values from the first degree-day region to the fourth region. The highest effect on insulation improvement was obtained from the improvement in the wall element. The improvement in the shell of the building caused a further decrease in operational carbon from the first to the fourth zone. As a result, the database, method and analyzes presented in this study have the potential to serve as an example for future research in this field. This study makes a significant contribution to the literature by proposing a multi-criteria optimization process at the design stage to reduce the environmental impacts of buildings which provides a holistic improvement.

Keywords: Life cycle analysis, Multi-criteria decision support system for environmental impact reduction, Eco-design, Environmental product declaration, Heating energy calculation, Sustainability, Economic feasibility analysis, Data analysis, Monte Carlo simulation.

1. GİRİŞ

Nüfus artışı, büyüyen ekonomi ve teknolojik ilerlemeler sonucu doğal kaynakların tüketimi aşırı artarken atmosfere salınan kirleticiler iklim değişikliği sorununu ortaya çıkarmıştır. Sürdürülebilir olmayan büyüme yer kürenin yaşam döngüsü merkezi olan ekosistemin bozulmasına ve sonunda yok olmasına yol açar. Doğal kaynakların hızla tüketilmesi ve buna bağlı oluşan tepkiler “sürdürülebilirlik” kavramının ortaya çıkmasını tetiklemiştir.

Sürdürülebilirlik (sustainability) kelime kökeni Latince’den gelen “sus tenere” yani korumak veya dayanmak anlamına gelmektedir (Jacques, 2020). Bu kavram üzerine farklı alanlarda birçok yaklaşım ve tanım vardır (Dictionary, 2002; Pamuk ve Kuruoglu, 2016; Ruckelshaus, 1989; Gilman, 1992; Pierce ve Larson, 1993; Bauen vd., 1996). Tanımların ortak paydası temelde bir kaynağın yok edilmeden gelecekte de kullanılabilmesini ifade etmektedir.

Sürdürülebilirlik ilk kez 1972’de, bir düşünce üretim topluluğu olan Roma Kulübü tarafından yayımlanan “Büyümenin Sınırları” adlı rapor ile küresel boyutta gündeme gelmiştir. Roma Kulübü tarafından Massachusetts Teknoloji Enstitüsü’ne yaptırılan araştırma; nüfus, gıda güvenliği, üretim, çevre kirliliği ve yenilenebilir olmayan doğal kaynakların tüketimi arasındaki ilişkileri ele almıştır. İnsan aktiviteleri aynı hız ve biçimde devam edecek olursa, yerkürenin taşıma kapasitesinin aşılabileceği, ciddi boyutta ekonomik ve toplumsal sorunların ortaya çıkacağı konusunda uyarılar yer almaktadır (REC, 2021).

Günümüzde, doğal kaynakların ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenme hızı; doğal alanları tahrip eden ve biyolojik türlerin yok oluşuna sebep olan müdahaleler ve doğal süreçlerin yeniden dönüştüremediği aşırı miktardaki atıklar, gezegenimizin kapasitesinin yaklaşık 1,5 katına çıkmış durumdadır. Ekosistem rezervleri azalırken, insanlığın ayak izi büyümektedir. Ekolojik ayak izi, biyosfer üzerindeki insan etkisinin büyüklüğünü küresel hektar biriminde ölçer. Ülkemiz, toplam ekolojik ayak izine göre sıralanan ülkeler arasında 283 milyon hektar ile 13. sıradadır. Biyolojik kapasite, mevcut yönetim uygulamaları göz önüne alındığında, kaynak üretmek veya karbondioksit atığını soğurmak için mevcut verimli

arazi alanıdır. Toplam biyokapasite sıralamasında ise ülkemiz 113 milyon hektarla 19. sıradadır (Global Footprint Network, 2021).

2011 yılında UNEP tarafından organize edilen Uluslararası Doğal Kaynak Panelinde; ciddi adımlar atılmadığı takdirde, 2050 yılına kadar insanoğlunun, günümüzde yıllık tüketilen miktarların üç katı, yaklaşık 140 milyar ton mineral, cevher, fosil yakıt ve biokütlenin kullanılmış duruma geleceği belirtilmiştir (IRP). Belirtilen tüketimin etkilerinin açığa çıkacağı yer kürenin stres sınırları vardır. Stres sınırları olan sistemlerden birkaçı; iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı, okyanus asitleşmesi, ozon deliği ve arazi kullanımıdır.

Çevre sorunları küresel bir sorun olarak ilk defa 1972 Stockholm İnsan ve Çevre Konferansında kalkınma, gelişme ve çevre koruma kavramları ile birlikte ele alınarak dünyanın geleceği bu açıdan tartışılmaya başlandı. Konferansın en önemli amacı ve hedefi; her ülkenin çevreye karşı sorumluluğunu kabul etmesinin, insanın yeryüzündeki varlığını sürdürebilmesinin esas koşulu olduğu noktasında birleşilmesiydi. Ardından sürdürülebilir kalkınma resmî olarak ilk kez 1987 yılında yayımlanan Ortak Geleceğimiz (Brundtland Raporu) adlı raporda tanımlandı. Brundtland Raporu sürdürülebilir kalkınmayı “Bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin de kendi ihtiyaçlarını karşılamalarında ödün vermeden karşılamak” olarak ifade edilmektedir. Böylece ekonomik, sosyal ve çevresel anlamda eş zamanlı ve eşit kalkınmanın sürdürülebilirliği sağlayacağı belirtilmiştir (Uluslararası Çevre Koruma Sözleşmeleri).

Yaşadığımız çevreye pozitif dinamik bir yön vermek doğal dengenin ve kaynakların korunması ile oluşturduğumuz atıkların yeniden kullanılabilir hale getirilmesi ile mümkün olur. Son yıllarda meydana gelen çevresel felaketlerin sıklığı ve ardında bıraktığı hasarlar, insanoğlunun doğaya ne kadar bağımlı olarak yaşadığını çarpıcı bir şekilde göstermektedir. Doğaya saygılı projeler günümüzde sürdürülebilirlik ile bağdaştırılmaktadır. Buradaki temel ilke “doğaya hükmeden değil, onunla bütünleşen ve yaşayan projeler” dir. Yaşayan çevre insan müdahalesi olmadan dönüşümlüdür. Temel soru ve çözümün başlangıcı “insanoğlu doğaya nasıl müdahale ediyor?” olarak ifade edilebilir. Biyosferi oluşturan ana parçaları yapaylaştırma girişimleri; ekosfer, atmosfer, litosfer ve hidrosfer üzerinde bir stres oluşturmaktadır. Newton yasalarında da belirtildiği gibi “Her kuvvete karşılık, her zaman eşit ve ters bir tepki kuvveti vardır”. İnşaat sektörü doğa etkileşiminde en büyük paya sahip sektörlerden biridir. Bir mühendislik yapısının oluşumu sürecinde kullanılan kaynakların elde edilışinden, oluşan atıklara kadar geçen süreçte çevreyle sürekli etkileşim halinde olunmaktadır. Sektörün tükettiği enerji ve malzeme miktarının sürekli artması inşaat

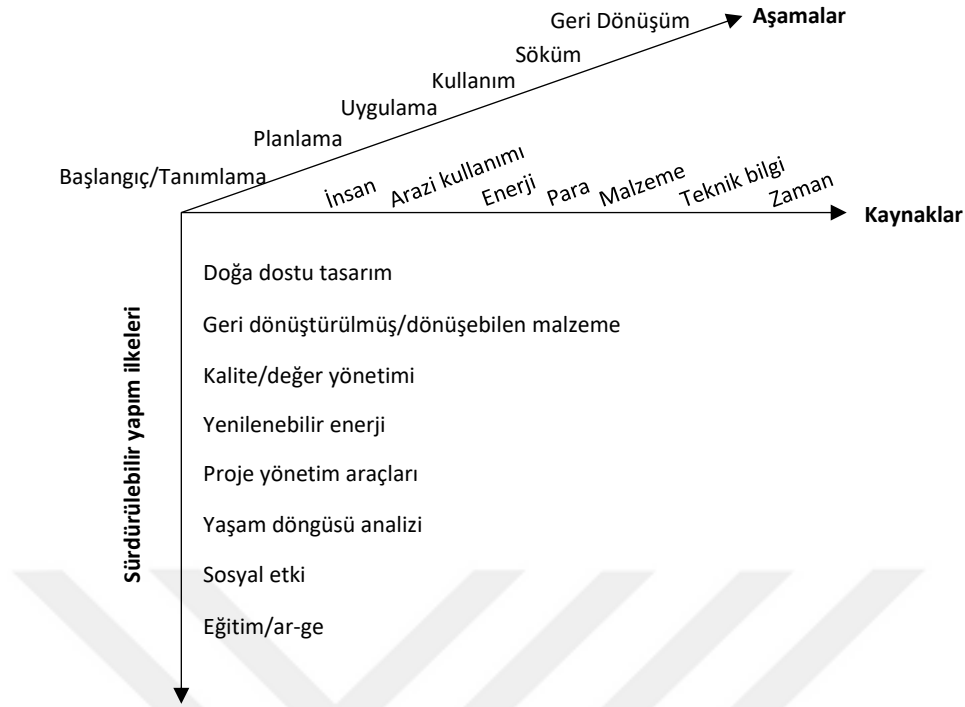
sektörünün bir an önce çevreye saygılı bir değişime girmesi gerektiğinin göstergesidir. Ayrıca küresel olarak alınan kararlar, artan çevre duyarlılığı sonucu inşaat sektöründe de sürdürülebilirlik kavramı önem kazanmıştır.

1.1 İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik Kavramı

Gelişmekte olan ülkeler, artan ihtiyaçlarına yanıt verebilmek için inşaat sektöründe ilerlemeye ihtiyaç duymaktadır. İnşaat sektörü birçok çevresel soruna neden olmasına rağmen ekonomik ve sosyal anlamda üstlendiği roller, bu sektörün vazgeçilemez olmasına neden olmakla kalmayıp aynı zamanda gelişimini doğayla uyumlu şekilde yapabilmesi için yeni fikirler bulunmasına yol açmıştır. Sürdürülebilir inşaat ya da yapımı ifade eden bu yeni fikirler, daha az enerji ile kaynak kullanımını ve atık üretimini azaltmayı hedeflemektedir (Hoşkara, 2007).

İnşaat sektörü kaynak bakımından ele alındığında ağırlıklı olarak yenilenemez kaynaklara bağımlıdır. Artan nüfusun tetiklediği kaynak tüketimi ve var olan kaynakların kısıtlı olması endişe yaratmaktadır. Mevcut inşaat yönetim sistemlerinin kısıtlı kaynak koşulunda taleplere yetersiz kalması ve yeni nesil inşaatçılık anlayışını istenen ölçüde çözümleyememesi yeni yöntemlerin ve yönetim araçlarının araştırılmasına yol açmıştır. Amaç, sürdürülebilirlik hedeflerini inşaatın tüm süreçlerine entegre edebilen bir yöntem geliştirmektir.

Geliştirilecek olan sürdürülebilir yapım ilkelerini Kibert altı başlıkta toplayarak kavramsal bir model oluşturmuştur (Kibert, 1994). Kibert (1994) tarafından oluşturulan, sürdürülebilir yapım ilkelerinin kavramsal modeli geliştirilerek Şekil 1.1’ de sunulmuştur. Model günümüz proje yapım süreçleri, gereksinimleri ve terimleri temel alınarak revize edilmiştir.



Şekil 1.1 : Sürdürülebilir yapım uygulamalarının üç boyutlu kavramsal modeli.

Sürdürülebilir inşaatın baskın araştırma hattı sürdürülebilir inşaat için alternatif malzemeler, sürdürülebilir inşaat yönetimi, geri dönüşüm ve atık azaltma, inşaat yönetiminde sosyal sürdürülebilirlik olmak üzere dört ana çerçeveden oluşmaktadır. Öte yandan bu dört başlığın zayıf boyutunu “sosyal sürdürülebilirlik” ve baskın boyutunu “alternatif malzemeler” oluşturmaktadır (Udomsap ve Hallinger, 2020). Sürdürülebilir yapı, sürdürülebilirliğin temel ilkelerinin tüm inşaat süreçlerine uyarlanması ve uygulanması olarak kabul edilebilir. Bu temel ilkeler ekolojik, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik olmak üzere 3 ana başlıkta ifade edilir. Bu ana çerçevelerin sahip olduğu alt indeksler sektöre uyarlanarak, yapının sürdürülebilir olup olmadığı değerlendirilmektedir. Ekonomik sürdürülebilirlik; inşaat sektörünün kriterleri göz önüne alındığında, yapının planlanmasından kullanım ömrü sonrasına kadar oluşabilecek maliyetlerin azaltılmasıdır. Kaynakların zamana göre verimli kullanımı, kullanım giderleri, malzeme ve hizmetlerin üretim-tüketim süreci alt indise örnek olarak verilebilir. Minimum kaynak girdisiyle yüksek faydanın elde edildiği yapılar finansal açıdan sürdürülebilir olarak tanımlanır. Sosyal sürdürülebilirlik insan odaklıdır ve yaşamın ikame edildiği mekânlar ile aralarındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Ekolojik sürdürülebilirlik, inşaat sektörü tarafından oluşturulan yapay çevrenin doğaya ve onun şartlarına uyum sağlaması olarak açıklanabilir.

1.2 İnşaat Sektörünün Çevresel Etkisi

Enerji üretimi ve motorlu taşıtların ardından inşaat sektörü, Dünya iklimini tehdit eden sera gazı emisyonlarına en büyük katkıyı yapan üç sektörden biridir (IPCC, 2019). Bu etkinin toplum tarafından benimsenmesi ve artan çevre duyarlılığı, küresel inşaat endüstrisinin daha sürdürülebilir uygulamaları benimsemeyi amaçlayan daha belirgin adımlar atmasına yol açmıştır (Kibert, 2007). Geçmişte maliyet azaltma, operasyonel verimlilik, kalite ve kârlılık inşaat yönetiminde anahtar etkenler iken, proje sahipleri ve yöneticiler inşaat projelerinin çevresel ve sosyal etkileriyle giderek daha fazla ilgilenmektedirler (Ortiz vd., 2009).

Sürdürülebilir binalar; enerji etkin yapılar, ekolojik yapılar ya da yeşil yapılar kelimeleri ile de adlandırılmaktadır. Ülkemizde ve dünyada yapılarda havalandırma, ısıtma, aydınlatma amaçlı kullanılan toplam enerji tüketiminin %30 olduğu tahmin edilmektedir. Bu enerji tüketimine tesisat ekipmanlarının üretimi için harcanan enerji de eklenince tüketilen toplam enerji %40' tan fazla olmaktadır (Özbalta ve Çakmanus, 2008).

Dünya genelinde tüketilen enerjinin %50'si, suyun %42'si, tarımsal alanların %48'i ve diğer malzemelerin %50'si bina yapım, kullanım ve işletim süreçlerinde harcanmaktadır. Aynı zamanda, küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının %50'si, içme sularındaki kirlenmenin %40'ı, hava kirliliğinin %24'ü, yüzeysel katı atıkların %20'si ve karbondioksit emisyonlarının %50'si yapılarla ilişkili uygulamalardan kaynaklanmaktadır (Kısa Ovalı, 2009; Edwards, 2007). İnşaat sektörünün yeryüzündeki kaynakları büyük oranda tüketmesi biyosfer üzerinde; küresel ısınma, asit yağmurları, atık oluşumu, yapay çevre baskısı gibi birçok açıdan stres yaratmaktadır.

2019'da küresel ortalama atmosferik karbondioksit, $\pm 0,1$ ppm'lik bir belirsizlik aralığı ile 409,8 ppm' idi. Bugün karbondioksit seviyeleri, en azından son 800.000 yıldaki herhangi bir noktadan daha yüksektir. 2021 Ocak ayı seviyesi ise $415 \pm 0,1$ ppm seviyesindedir (NOAA). İnşaat endüstrisinin enerji tüketimini ve atmosfere saldıgı sera gazlarını incelemek, etkisini değerlendirmeye başlamak için en basit nokta olacaktır. Modern inşaatın temelini oluşturan beton ve çelik, iklim değişikliğinin en büyük sebepleridir. Tüm dünyada kayıtlı inşaatlarda alüminyum, plastik, çelik ve ahşap dâhil olmak üzere tüm inşaat malzemelerinin toplamından iki kat daha fazla beton kullanılmaktadır. Çimento üretimi sera gazlarının salgılanmasındaki en büyük katılımcı olan fosil yakıt tüketiminden hemen sonra gelir. Çimento fırınları yılda 25 tondan fazla nitrojen oksit açığa

çıkardığı için bu zararlı gazların esas kaynağı olarak belirlenmiştir (Du Plessis, 2001). Ayrıca agregaların taşınması ve çıkarılması enerjinin en çok ortaya çıktığı durumdur. Çelik üretimi de fazla enerjiye ihtiyaç duyan malzemelerden biridir. Demir ve çelik üretimi küresel enerji kullanımının %4,1'ini oluşturur. Ayrıca malzemenin üretiminde ve son kullanımında da çok fazla suya ihtiyaç vardır. Buna ek olarak, inşaat aktiviteleri ister inşaat malzemelerinin üretimi olsun ister inşaat operasyonunun kendisi olsun gürültü kirliliği, toz ve zehirli atıklar nedeniyle oluşan tehlikeli kirlenme gibi daha başka birçok çevresel sorunlara sebep olur (Civan, 2006).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, 2019) karbon hedeflerinin 2050 yılına kadar değil acilen gerekli olduğunu belirtmiştir. Buna göre karbon salınımının düşürülmesi Mimarlık – Mühendislik – İnşaat (AEC) endüstrisi için acil bir konu haline gelmiştir. AEC projelerinin karmaşıklığı ve çevresel etkilere neden olan parametreleri göz önüne alındığında, bütünsel bir yaklaşım gerektiren bir tablo ortaya çıkmaktadır. Bu durumda sürdürülebilir yapıyı çevreyi daha iyi kavramak için uygun yöntemi YDA sağlayabilir. YDA projenin hammadde, üretim, kurulum ve geri dönüşüm gibi tüm sürecini içermektedir. Ayrıca yapının çevresel etkilerini malzeme, üretim ve inşaat düzeyinde ölçmektedir (Yüksel, 2021).

Yapılı çevrenin küresel sera gazı emisyonları üzerindeki etkisinin önemi tartışılmazdır. Özellikle binaların etkileri birbiriyle ilişkili fakat iki farklı şekilde ele alınabilir; birincisi ısıtma, soğutma gibi binanın işletmesinden kaynaklanan operasyonel bölüm ve ikincisi malzemelerin üretimi, taşınması, kurulumu gibi binaların fiziki yapısından kaynaklanan gömülü bölüm olarak değerlendirilebilir. Literatürde operasyonel karbon ile ilgili çok sayıda çalışma ve çözüm bulunmasına rağmen gömülü karbonu değerlendiren çalışma sayısı daha azdır. Ancak gömülü karbon operasyonel karbona göre genel çevresel sonuçlar üzerinde daha etkilidir (UKGBC, 2019). Bu nedenle yapıların işletme yaşam dönemi dışındaki üretim ve kurulum yaşam dönemlerindeki araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

AB Binaların Enerji Performansı Direktifi'nin (EU, 2010) yürürlüğe girmesi ve bunun binaların enerji performansı üzerindeki etkilerinin oluşmasıyla, binalarda operasyonel karbonu ve enerjiyi azaltmaya yönelik çalışmalar başlamıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar, operasyonel etkilerin azaltılmasını sağlasa da modellenen ve kullanılan binaların operasyonel değerleri arasında önemli bir fark gözlemlenmiştir. Bu durum operasyonel

karbon ve enerjide azalmaları amaçlayan çalışmaları tetiklemiştir (Pomponi ve Moncaster 2018).

Yapıların işletme dönemindeki etkilerine ilk başta odaklanılsa da son yıllarda yapılan hesaplamalar, yapıların gömülü karbon ve gömülü enerji gibi üretim dönemindeki etkilerinin, yapının tüm yaşam dönemi üzerindeki etkisinin önemli bir bölümünü oluşturduğunu göstermektedir (Crawford vd., 2016; Azzouz vd., 2017; Scheuer vd., 2003; Iyer-Raniga ve Wong, 2012). Binalarda işletme döneminde kullanılan enerjinin giderek azalması, binaların üretim ve kurulum döneminin araştırılmasını tetiklemektedir. Bunun için Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) binaların ve diğer inşaat işlerinin tüm yaşam dönemindeki etkilerinin hesaplanmasına yönelik metodolojiyi üç temel standartta yayınladı (BS EN 15643-2, BS EN 15804, BS EN 15978). Bu standartlar metodolojiyi sağlasa da operasyonel dönem standartları gibi kullanımı zorunlu kılmamaktadır. Modellenen ve gerçek olan gömülü hesaplama sonuçları arasındaki farkın bu alandaki araştırmaların artmasında bir artışı tetiklemelidir. Fakat, hesaplamalardaki çeşitlilik, farklı veriler ve varsayımlar, hesap sonuçları arasındaki farklar araştırma alanının gelişiminde tam tersi bir etki yapmıştır. Hesaplamalardaki belirsizlik, yapıların gömülü etkilerinin hesaplamalar dışında tutulmasına gerekçe olarak sunulmaktadır (Säynäjoki vd., 2017; Pomponi ve Moncaster 2018).

Yapıların yaşam döngüsünün temel aşamaları üretim (A1-2-3), inşaat ve kurulum (A4-5), kullanım (B1-2-3-4-5-6-7), yaşam sonu (C) ve yeniden kullanım (D) aşamalarıdır. Bu aşamalardan A1-2-3, farklı veriler ve kabullerle hesaplanabilir. A4 aşaması, yapı malzemelerinin şantiyeye taşınmasını temsil eder ve ulaşım türü, yakıt gibi veriler yardımıyla hesaplanabilir. A5 aşaması yani ‘kurulum’ aşaması için literatürde yeterli bilgi yoktur. A5 aşaması, genellikle yapıda kurulum esnasında tüketilen elektrik enerjisi ve malzeme olarak ikiye ayrılmaktadır. A5 aşaması, A1-A3 ve hatta A4 olmak üzere diğer yaşam döngüsü aşamalarının yüzdesi olarak hesaplandığı belirtilmiştir. Fakat A5 ile diğer yaşam döngüsü aşamalarının etkileri arasında bir korelasyon olduğuna dair hiçbir kanıt bulunmamaktadır. Ayrıca A5 yaşam döneminin etkisini en iyi şekilde nasıl ölçüleceğine dair herhangi bir anlaşmaya henüz varılmamıştır. Ayrıca B1-2 yani ‘kullanım ve bakım’ aşamaları hesaplama belirsizliğinden dolayı genellikle ihmal edilir. Bunun dışında B3-4-5 aşamaları yani yapının kullanım döneminde açığa çıkan imalat yenilemelerinin etkisinin hesaplandığı çalışmalar hakkında da yeterli bilgi yoktur. Bilimsel literatürde, önemli etkilerle karakterize edilen bu çok uzun yaşam döngüsü aşamasının nasıl ele alındığını ve

gömülü etkilerinin nasıl hesaplanacağını hakkında yeterli bilgi yoktur. Bu hem yüksek karmaşıklık hem de belirsizlik nedeniyle kesinlikle zorlu bir alandır ve aynı zamanda ilgili toplulukların acil ilgisini hak etmektedir. C ve D aşaması, kullanım aşamasına benzer şekilde çok az çalışmaya sahiptir (Pomponi ve Moncaster 2018).

Yapılarda işletme dönemi boyunca oluşabilecek düşük karbon ve enerji performansına, yapılar kullanıma geçtikten sonra da çözüm üretilebilir ve iyileştirme yapılabilir. Fakat yapıların üretim dönemindeki gömülü etkileri için aynı koşul geçerli değildir. Yapı tamamlandıktan sonra, gömülü değerler azaltılamaz. Yapılacak ek bir değişim gömülü değerlerde sadece artışa neden olacaktır. Bu nedenle tasarım aşamasında yapıların gömülü değerlerini değerlendirmek ve azalmak için araştırmaların yapılması gereklidir.

Bütün bu sebeplerden dolayı tez çalışması, bu alanın ve tasarım aşamasında modellenen çevresel etkilerin ayrıntılı bir şekilde anlaşılması için bir analiz sunmaktadır. Yapılarda yaşam döngüsünün farklı aşamalarını karşılaştıran, tasarım aşamasında yapıların çevresel etkisini azaltmak için çok kriterli bir karar destek sistemi sunan, yapılarda kullanılan iş kalemlerine alternatifler sunan, çevresel verileri karşılaştırarak veriler arasındaki sapmayı hesaplayan ve yapı malzemelerinin tekrarlı kullanımlarının etkisini araştıran bu çalışma yapıların çevresel etkilerini neden-sonuç ilişkisi ile ele alarak literatürdeki eksikliklere ışık tutmayı amaçlamaktadır.

1.3 Tezin Amacı

İnşaat işlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin belirlenmesi ve analizi önemli bir araştırma alanıdır. Bir binanın inşası için çok sayıda iş kaleminin uygulanması gerekliliği ve yapı malzemesi seçeneklerinin çok sayıda olması bina inşaatlarının çevresel performans analizlerinin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Çalışmanın temel amacı yapıların çevresel etkisine ilişkin bir kıyaslama sağlamak ve bu etkiyi azaltmak için çok kriterli bir karar destek sistemi geliştirmektir. Bu hesaplama için yaşam döngüsü analizi ile oluşturulan çevresel ürün beyanlarından (EPD- Environmental Product Declarations) yararlanılmıştır. Bu sayede yapıların sadece karbon ve enerji değil aynı zaman da asidifikasyon, ötrofikasyon gibi diğer çevresel performans göstergeleri de hesaplanabilecektir. Çalışmanın temel amacına ulaşmak için aşağıdaki hedefler belirlenmiştir:

1. Yapıların çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik bir yöntem geliştirilmesi,
2. Yapıyı oluşturan malzemelerin çevresel performans göstergelerinin (GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF) ve maliyetinin hesaplanması,

3. Çevresel performans göstergelerini ve maliyeti en çok etkileyen yapı malzemelerinin belirlenmesi,
4. Yapının çevresel etkisinin azaltılması:
 - Çevresel etki değerlerini ve maliyeti azaltmak için yapıda kullanılan yapı malzemelerine alternatif malzemeler atayarak yapılan değişimin yapı malzemesinden ve ısıtma enerjisi kullanımından (doğalgazdan) kaynaklanan çevresel performans göstergeleri ve maliyet üzerindeki etkisinin çok kriterli bir karar destek sistemi geliştirilerek araştırılması,
 - Yapının enerji tüketiminde etkili olan dış yüzeyini oluşturan yapı malzemelerinin değişiminin yapı malzemesinden ve ısıtma amaçlı doğalgaz tüketiminden kaynaklanan maliyet-karbon-enerji üzerindeki etkisinin araştırılması,
5. Çevresel etkilerin hesaplanmasına yönelik veri tabanı oluşturulması, veri kaynaklarının değişkenliğinin ve bu değişkenliğin sonuca etkisinin ölçülmesi.

Çalışma sayesinde yapıların çevresel performansını farklı etkenleri dikkate alarak değerlendiren bir çerçeve sistem geliştirilmiştir. Derlenen veriler ve analiz sonuçları, yapı sektörü araştırmacıları ve paydaşları için bir kaynak oluşturacaktır. Bu çalışmanın hem uygulayıcılara hem de araştırmacılara katkıda bulunmayı amaçladığı temel nokta, projelerin erken aşamalarında başta karbondioksit olmak üzere çevresel performans göstergelerinin azaltılması konusunda fikir sahibi olmaktır. Ayrıca araştırma, çevresel etkilerin azaltımına yönelik çalışmaların gelişim aşmasında olduğu bu dönemde politika yapıcılar ve kuruluşlar için bir kaynak oluşturacaktır.

1.4 Tezin Kapsamı

Araştırma bir okul ve bir konut yapısında kullanılan inşaat yapı malzemeleri ve enerji (doğalgaz) tüketimine odaklanmıştır. Analizler iki yaşam dönemi için yapılmıştır. Birincisi A1-2-3-5 notasyonlarıyla temsil edilen ‘üretim ve kurulum’ dönemi ve diğeri A1-2-3-5 ve B3-4-5/B6 (kullanım) notasyonları ile temsil edilen ‘üretim, kurulum ve kullanım’ dönemidir. Yapıların kullanım ömrü 50 yıl olarak kabul edilmiştir. B6 döneminde hesaplanan enerji, yapıda ısıtma için kullanılan doğalgazı temsil etmektedir. A5 uygulama aşamasında yapı malzemesinin montajı veya inşası için gereken yardımcı malzemeler dikkate alınmaktadır. Bu duruma örnek 1 m² karonun uygulanmasında 6 kg karo yapıştırıcısı, zayi olan karolar ve 1,5 lt su tüketilmesi verilebilir. Bunun dışında A4 yaşam dönemi fabrikadan çıkan malzemenin şantiyeye taşınmasını temsil etmektedir. Taşıma

mesafesi şantiye ve tedarikçilerin konumlarına göre değişkenlik göstereceğinden dolayı A4 yaşam dönemi analize dahil edilmemiştir.

Çalışmanın sınırlarından biri çevresel etkileri belirlenecek yapı malzemelerinin temsili üzerinedir. İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemeleri çok çeşitlilik gösterdiği için hangi malzemelerin çevresel etkilerinin hesaplanacağı belirlenmiştir. Analizi yapılacak kalemler ‘Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının (CSB) 2022/3 (01.07.2022 tarihli) birim fiyat analizi’ listesi ile sınırlanmıştır (CSB). Birim analize konu iş kalemleri ve bunları oluşturan (rayiç) inşaat yapı malzemeleri hesaplamanın kapsamı dahilindedir. Makine, elektrik gibi inşaat yapı malzemeleri dışındaki kalemler analizin kapsamı dışında kalmaktadır.

İkinci kısıtlama, kullanılan EPD belgeleri ve yaşam döngüsü aşamasıdır. Ülkemizde inşaat sektöründe kullanılan bütün yapı malzemeleri için tamamlanmış bir veri tabanı bulunmadığından dolayı, çalışmada küresel ölçekteki veri tabanlarından yararlanılmıştır. EPD belgelerinin A1-2-3 aşamalarındaki veriler yani ‘beşikten kapıya’ olarak adlandırılan yaşam döngüsü sistem sınırı kabul edilmiştir. EPD belgelerindeki değerleri kıyaslamak için ICE veri tabanından yararlanılmıştır (Hammond ve Jones, 2008; Hammond vd., 2011). Hesaplanacak çevresel etki kategorileri (performans göstergeleri); GWP (Global Warming Potential- Küresel Isınma Potansiyeli), ODP (Ozone Depletion Potential- Ozon İncelmesi Potansiyeli), AP (Acidification Potential- Asidifikasyon Potansiyeli), EP-Freshwater (Eutrophication potential- Ötrofikasyon Potansiyeli), POCP (Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants- Fotokimyasal Oksidasyon Oluşma Potansiyeli), ADPE (Abiotic depletion potential for non-fossil resources- Fosil Olmayan Kaynak Kullanım Potansiyeli), ADPF (Abiotic depletion potential for fossil resources- Fosil Kaynak Kullanım Potansiyeli) olarak belirlenmiştir. Analizler, 7 çevresel ve 1 maliyet olmak üzere toplamda 8 kriter için yapılmıştır.

Yapının ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplamalarında TSE 825’ ten yararlanılmıştır. Hesaplamalarda tek hacimli bina hesap metodu kullanılmıştır.

1.5 Metot

Yapıların üretim, kurulum ve kullanım süreçlerindeki çevresel etkilerini çok kriterli biçimde hesaplamak ve azaltmak için literatürde sistematik bir yöntem bulunmamaktadır. Bu çalışmada belirtilen literatür boşluğunu doldurmak için yapıım projelerinin yaşam döngüsü analizi tüm iş kalemleri için 8 kriteri içererek yapılmıştır. Çalışmanın amacı

belirtilen 8 kriterden oluşan bir karar destek sistemi geliştirilerek yapıların çevresel etkilerini en az revizyonla iyileştiren bir çerçeve sistemin geliştirilmesidir. Belirtilen amaç doğrultusunda, yapım projelerinin metraj verilerini yapım tarifleri ile eşleştirilerek çevresel performans göstergeleri ve inşaat maliyeti hesaplanmıştır. Hesaplamalar sayesinde yapının maliyet ve çevresel performans göstergelerini en çok etkileyen iş kalemleri tespit edilerek ilgili iş kalemlerinin daha düşük çevresel etkiye sahip alternatifleri belirlenip tasarım güncellenerek yapı yeniden analiz edilir. Çalışmada çevresel performans göstergeleri için EPD belgeleri kullanılmıştır. EPD belgelerindeki verileri kıyaslamak için ise ICE veri tabanı kullanılmıştır. Ayrıca, maliyet tahmini ve yapı malzemesi miktarını belirlemek için ‘Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022/3 (01.07.2022 tarihli) birim fiyat analizi’ listesi temel alınmıştır (CSB). Çalışmada çevresel performans göstergeleri ve maliyet değerleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının inşaat yapı malzemeleri poz numaralarına atanmıştır. Bu sayede, malzemelerin çevresel etkilerinin hesaplanması için sistematik bir yöntem oluşmuş ve yapı malzemesi çeşitliliği sınırlandırılmıştır. Bunun yanı sıra hesaplamalarda poz numarasının kullanımı uzun iş tanımlarının yerini alarak araştırmacıların erişebileceği malzeme kodları şeklinde kullanılmıştır.

Çalışmada aynı yapı malzemesine ait EPD belgelerinin değişkenliği ölçülmüştür. EPD belgelerinde derlenen veriler ICE veri tabanı ile kıyaslanarak her iki veri kaynağı arasındaki sapmanın nedenleri incelenmiştir. Ayrıca aynı yapı malzemesi için farklı EPD belgeleri derlenerek malzemenin ortalaması ve standart sapması hesaplanarak çevresel etki değerlerindeki farklılaşmanın istatistiksel dağılımı da sunulmuştur. Bu veri analizinin detayları Bölüm 4.2’de ve değerlendirme ise Bölüm 6.1.1’de sunulmaktadır.

Çevresel etki ve maliyet analizleri yapının ‘üretim ve kurulum’ ve ‘üretim, kurulum ve kullanım’ yaşam dönemi için yapılmaktadır. Üretim ve kurulum dönemi (A1-2-3-5), yapıyı inşa etmek için gereken yapı malzemelerini ifade eder. Kullanım dönemi (B3-4-5 ve B6); yapıda kullanılan malzemelerin yenilenme, değiştirme ve onarım benzeri sebeplerle değişimini (B3-4-5) ve yapıda kullanım döneminde tüketilen enerjiyi (B6) temsil etmektedir. A4 yaşam dönemi taşıma mesafesi değişkenliğinden dolayı analize dahil edilmemiştir.

Yapının çevresel etkisinin azaltılması için temel olarak 2 ayrı analiz yapılmıştır. Birinci analiz yapı malzemesi temelli bir yaklaşımdan oluşmaktadır. Yapının başlangıç durumundaki tasarımına göre yapının çevresel etkilerinin her birini ve maliyetini en çok etkileyen iş kalemleri belirlenir ve etki yüzdesine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır. Çevresel performans göstergelerini ve maliyeti azaltmak için bu iş kalemlerine alternatif

malzemeler atayarak her bir çevresel göstergesi ve maliyeti minimum yapan yapı tasarımı oluşturulur. Alternatif atanan iş kalemleri, yüzde etki sıralamasında değiştirilebilir ilk 5 iş kalemi oluşturmaktadır. Sıralamada beton, donatı gibi iş kalemlerine yapısal analizin tekrarı gerekeceği için alternatif atanmamış ve seçim işlemi değiştirilebilir malzemelere göre yapılmıştır. Alternatif iş kalemlerinin atanması ile oluşan yeni tasarımın çevresel etkileri ve maliyeti yeniden hesaplanır. Bu sayede tasarımda en az revize yaparak çevresel etki değerlerinde en yüksek iyileşme sunan tasarım belirlenir. Bu analiz, A1-2-3-5 (üretim ve kurulum) ve A1-2-3-5+B3-4-5 (üretim, kurulum ve kullanım) yaşam döngüsü dönemlerinin ikisi için de tekrarlanmıştır.

B3-4-5 aşamaları yani yapının kullanım döneminde açığa çıkan imalat yenilemelerinin etkisinin hesaplanmasına dair literatürde yeterli bilgi yoktur. Bu çalışmada kullanılan EPD belgelerinden ve malzeme üreticilerinden elde edilen malzemelerin faydalı ömürleri dikkate alınarak, B3-4-5 yaşam dönemi için hesaplamalar yapılmıştır. Malzemelerin kullanım süreleri değişkenlik gösterse de çalışmada, malzemelere atanan faydalı ömür sürelerinin en yüksek olması hedeflenerek, B3-4-5 yaşam döneminin minimum etki yüzdesi araştırılmıştır. Ek olarak yapı malzemelerinin faydalı ömürlerinin hesaplamalara dahil olması analiz edilen 8 kriteri en çok etkileyen iş kalemleri ve bunların etki yüzdesini değiştirebilmektedir. Bu sebeple 8 hesap kriterini en çok etkileyen malzemeler iki yaşam dönemi için hesaplanmıştır. Bunlardan birincisi yapıyı inşa etmek için kullanılan malzemelerin bir arada değerlendirildiği analizdir ve bu yaşam döngüsünde A1-2-3-5 (üretim ve kurulum) dönemi ile ifade edilir. İkinci analizde yapıyı inşa etmek ve yenilemek için kullanılan malzemeler bir arada değerlendirilmektedir. Bu dönem başlangıç dönemini de kapsadığından A1-2-3-5+B3-4-5 (üretim, kurulum ve kullanım) yaşam döngüsü dönemini ifade etmektedir.

GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF çevresel performans göstergeleridir. İlk dönem yani 'üretim ve kurulum' dönemi için her bir göstergesi minimum yapan 7 tasarım oluşmaktadır. Ayrıca maliyeti de minimum yapan 1 tane tasarım ile toplamda 8 hesaplama kriteri için 8 yeni tasarım oluşur. Her bir yeni tasarıma göre 8 kriter her iki yaşam dönemi için hesaplanmaktadır. Örneğin maliyeti azaltmak için, maliyeti en çok etkileyen değiştirilebilir ilk 5 iş kalemine alternatifler oluşturulur ve bu alternatifler arasından maliyeti en düşük olan iş kalemi seçilir. 5 iş kaleminin değiştirilmesiyle en az revizeyle olabilecek en etkin maliyet düşüşünü sağlayan yapı tasarımı oluşmaktadır. Bu yeni tasarımın çevresel gösterge değerleri ve maliyet değeri her iki yaşam dönemi için yeniden hesaplanır. Bunun

sebebi, iş kalemlerine maliyeti azaltmak için atanan alternatiflerin maliyet dışındaki 7 kriteri nasıl etkilediğinin hesaplanmasıdır. Bu işlem adımlarının sonunda yapının ‘üretim ve kurulum’ dönemine göre yapılan yeni tasarımların her iki yaşam dönemi için yaşam döngüsü matrisi elde edilir. Bu sayede çevresel performans göstergeleri ve maliyetteki iyileşmeler gözlemlenmektedir. Buraya kadar anlatılan analizlerin tamamı ikinci dönem yani ‘üretim, kurulum ve kullanım’ yaşam dönemi için tekrarlanır. Bu işlem sonunda 16 ($=8*2$) yeni yapı tasarımı oluşmaktadır. Sonraki adım bu modellerin yapının kullanım (B6) dönemindeki ısıtma enerjisi üzerindeki değişiminin hesaplanmasıdır. Bu etki doğalgaz tüketim miktarı, bu tüketimden kaynaklanan maliyet, karbon ve enerji miktarıdır. Yapının başlangıç modeli ile birlikte 17 tasarım için bu analiz TSE 825’de bulunan hesaplama yöntemi ve detaylar referans alınarak yapılmıştır.

Yapının çevresel etkisinin azaltılması için yapılan ikinci analiz, yapının kullanım yaşam dönemi boyunca sadece ısıtma enerjisini (B6) azaltmaya odaklanan yapı kabuğu temelli bir yaklaşıma sahiptir. Yapının enerji tüketiminde etkili olan kabuğunu oluşturan yapı malzemelerinin ısı yalıtım özelliklerinin kademeli olarak arttırılması ile yapı malzemesi ve doğalgazdan kaynaklanan maliyet-karbon-enerji değişimi araştırılmıştır. Yapıların duvar türü, cam, doğrama, çatı yalıtım türü, zemin yalıtım türü ve kalınlıkları değiştirilerek analiz yapılır. Bu değişim malzemelerin yalıtımını etkileyen kalınlık ve ısıl iletkenlik gibi kriterlerini kötüden iyiye iyileştirmeye dayanmaktadır. Duvar türünün tuğladan gaz betona iyileştirilmesi örnek olarak verilebilir. Bu analiz sayesinde yapıda fazladan yapılacak ek yalıtım yatırımının karbon, enerji ve maliyet ilişkisi ortaya çıkmaktadır. Bu hesaplama yatırım odaklı olduğundan dolayı yapı malzemelerinin faydalı ömürleri dikkate alınarak analizler yapılır.

Çalışmada analizler iki şekilde hesaplanmıştır. Birincisi, temel çevresel etki ve maliyet analizinin elektronik tablo temelli bir uygulamaya tanımlanarak yapılan manuel analizdir. İkinci yöntem ise hesaplanan çevresel verilerin veri tabanına aktararak, SQL tabanlı sorgulama yapan bir çevresel etki hesaplama aracı geliştirilerek yapılan hesaplama. Geliştirilen program, HTML, CSS, JavaScript ve C# dillerinden faydalanılarak yazılmıştır. Örnek yapı iki şekilde de hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma adımı sayesinde yapıların çevresel performans göstergelerini ve maliyetini ölçmeye yarayan, yapı sektörüne özgü bir araç geliştirilerek, yapıların temel yaşam döngüsü analizinin hesabı kolaylaştırılmıştır.

1.6 Tez Düzeni

Bu araştırma yedi bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm çalışma konusunun temel düzeyde bilgilerini, çalışmanın amaç ve hedeflerini kapsamaktadır. İkinci bölüm konu ile ilgili teknik terimleri, standartları ve literatür taramasını içermektedir. Üçüncü bölüm çalışmanın işlem adımlarıyla ilgili detayların anlatıldığı araştırma metodunu içermektedir. Dördüncü bölüm analizlerde kullanılan verilerin istatistiksel analizini vermektedir. Beşinci bölümde analizlerde kullanılacak olan yapılar tanıtılmıştır. Altıncı bölümde analiz sonuçları verilmektedir. Yedinci bölüm araştırmanın tartışmasını ve gelecek çalışmalar için açıklamaları içermektedir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmanın bu bölümünde, tezde analiz edilen konular ve anahtar terimler ile ilgili detaylar açıklanarak ilgili literatür sunulmuş ve literatüre eleştirel bir inceleme yapılmıştır.

İnşaat sektörünün çevresel etkisinin farkına varılması ile bu etkiyi azaltmak için önemli adımlar atılması gerektiği ortaya çıkmıştır (Haapio ve Viitaniemi, 2008). Bu gereklilik, çevresel performansın doğru ölçütler ile hesaplanması sorununu açığa çıkarmış ve çözüm olarak çevresel etki değerlendirmesi sunulmuştur (Crawley ve Aho, 1999). Ancak sektörün büyüklüğü, malzeme çeşitliği ve paydaş yapısı yapının performansı kavramını tanımlamayı zorlaştırmaktadır. Bu zorluğu aşmak amacıyla ISO (International Organization for Standardization) yapıların çevresel etkilerini değerlendirmek için gereken standartları tanımlamıştır (Haapio ve Viitaniemi, 2008). Metin (2017) ve Gökçe vd. (2018) çalışmalarında bu standartları detaylandırmıştır.

Yapıların çevresel etkileri belirlenirken iki sistemden yararlanılır. Bunlardan ilki yaşam döngüsü analizi (YDA) ve ikicisi ise kriterlere dayalı bina sertifika programlarıdır. YDA programlarına Bees (ABD), EcoQuantum (Hollanda), Envest 2 (İngiltere), ATHENA (Kanada) örnek verilebilir. Kriterlere dayalı yeşil bina programlarına ise BREEAM (İngiltere), CASBEE (Japonya), LEED (ABD), Green Star (Avustralya), SBTool (Uluslararası), Green Mark for Buildings (Singapur), EcoProfile (Norveç) değerlendirme sistemlerinden birkaçıdır (Sev, 2009).

Yapıların yaşam döngüsü analizi, yapıyı oluşturan malzemelerin yaşam döngüsü analizi verileri ile hesaplanır (Anand ve Amor 2017). Yaşam döngüsü analizini kullanarak yapıların çevresel performansını ve sürdürülebilirliğini ölçen araçlar; yeşil bina kredilendirme programları, yapı malzemesi değerlendirme veritabanları ve çevresel ürün beyanlarıdır.

2.1 Yaşam Döngüsü Analizi

Bir üretim sisteminin yaşam süresince tüm girdilerinin, çıktılarının ve potansiyel çevresel etkilerinin toplanıp analiz edilmesi yaşam döngüsü analizi olarak tanımlanır. YDA sistemi, inşa sürecinin tamamında yani kullanılacak kaynakların üretiminden atıkların

yok edilmesine kadarki süreci kapsamakta ve ortaya çıkan çevresel etkileri irdelemektedir (Walsh, 1987). YDA'nın sınır değişkenleri ürünün elde edilmesi için başlangıçtan nihai istenilen duruma gelene kadar gereken zaman dilimlerini belirtir. Bu sınırlar beşikten kapiya, beşikten siteye, beşikten mezara, beşikten beşiğe şeklinde temsil edilmektedir (BRE).

ISO, YDA'nın kullanıldığı alanları belirtmektedir. Bir ürün ya da hizmetin çevresel etkilerinin analizi, stratejik planlama, öncelik tercihi, tasarım, iyileştirme, pazarlama bunlardan birkaçını oluşturmaktadır (ISO 14040, 2006). Ayrıca yapılan çalışmalara göre çevresel beyanların %11'i, ar-ge çalışmalarının %18'i iş geliştirme projelerinin %18'i ve tasarım projelerinin %15'i yaşam döngüsü analizi ile yapılmaktadır (Demirer, 2011). YDA, inşaat sektöründe süreç paydaşları tarafından önemli bir karar destek sistemi olarak kullanılmaktadır (Khasreen vd., 2009; Özçuhadar, 2007).

YDA ile ilgili yapılan ilk çalışmalar 1960'larda başlamış ve günümüzde hızla artış göstermektedir (McManus ve Taylor, 2015). Dünya enerji konferansında, kimyasalların üretim aşamasında harcanan enerji miktarını hesaplayan rapor bu alandaki ilk çalışmalardan biridir (Taygun, 2005). Ardından gelen çalışmalar tahmin modeli oluşturmaya dayanan hammadde ve enerji analizlerinden oluşmaktadır (Özçuhadar, 2007). 1970'li yıllarda yaşam döngüsü enerji analizi ve maliyeti hesaplanmaya başlanmış ve 80'li yıllara doğru çevresel etkiler odak noktasını atık yönetimi ve geri dönüşüme doğrultmuştur (Bozkurt, 2007). Bu yıllarda atık ile ilgili temel yasal düzenlemeler ortaya çıkmıştır (Soysal, 2015). 1990'lı yıllara gelindiğinde SETAC, YDA'nın yöntemini ve aşamalarını belirten bir çalışma hazırlamıştır. YDA'nın tarihsel gelişiminde SETAC, UNEP ve ISO olmak üzere 3 etkili kuruluş vardır (Özçuhadar, 2007).

YDA ile ilgili ISO tarafından günümüze kadar birçok standart hazırlanmış, güncellenmiş ya da iptal edilmiştir. Ülkemizde sürdürülebilirlik konusunda yapılan ilk çalışma '2872 sayılı Çevre Kanunu'dur. Bunu enerji, çevre ve atıklar ile ilgili yasal düzenlemeler takip etmektedir. TSE, ISO'nun sürdürülebilirlik çalışmalarını birebir çeviri yaparak hazırlamaktadır. Türkiye'de yayınlanan ilk standart 1997 yılında ISO 14001 standardını temel alan 'TS EN ISO 14001 Çevre Yönetimi' standardıdır. Hem uluslararası standartları hem de ülkemizdeki karşılıklarını ve ülkemizde bulunan standartları Gökçe vd. (2018) çalışmasında kapsamlı bir şekilde açıklamaktadır.

2.1.1 Yaşam döngüsü analizi yöntemi

ISO standartlarında tanımlanan YDA 4 aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar; amaç ve kapsam tanımlama, yaşam döngüsü envanter analizi, yaşam döngüsü etki analizi ve sonuçların yorumlanmasıdır. Amaç ve kapsam tanımlama adımı, çalışmanın amacı, hedefi, sınırları ve değişkenleri tanımlanır. Envanter analizi, çalışmanın girdi ve çıktılarının sınırlar dahilinde belirlendiği veri analizi aşamasıdır. Etki analizi aşamasında ise bir önceki aşamada derlenen veriler kullanılarak çevresel performans göstergeleri hesaplanır. Bu aşamanın zorunlu ve gönüllü alt aşamaları vardır. Zorunlu aşamaları sınıflandırma ve karakterizasyon oluşturmaktadır. Sınıflandırma, ayrı ayrı belirlenen envanter öğelerinin (CO_2 , H^+ , CH_4 vb.) ilgili çevresel etki kategorisine yani performans göstergesine atanması işlemidir. Karakterizasyon ise aynı çevresel soruna yol açan envanter öğelerinin karakterizasyon katsayıları ile çarpılarak ortak bir birimi temsil etmesidir. Buna örnek olarak küresel ısınmaya sebep olan CO_2 , CH_4 , N_2O emisyonlarının karakterizasyon katsayıları ile çarpılarak kgCO_2 eşdeğerine dönüştürülerek ifade edilmesi verilebilir. Dönüştürme katsayıları IPCC ve CML gibi kullanılan farklı çevresel gösterge tanımlama modeline göre değişiklik gösterebilmektedir. Gönüllü aşamayı normalizasyon ve ağırlıklandırma oluşturmaktadır. Normalizasyon aşamasında, çevresel etki potansiyelleri ortak bir referans sisteme göre birimsiz duruma getirilip birbiriyle kıyaslanarak hangi çevresel etki potansiyelinin daha yüksek olduğu belirlenir. Ağırlıklandırma ise normalizasyon sonuçlarının ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak hangi çevresel etki potansiyelinin daha önemli olduğu sonucunu sunmaktadır. Yaşam döngüsü etki analizi sonuçları, çalışmanın hedefine göre ‘orta nokta’ ya da ‘son nokta’ yaklaşımı kullanılarak hesaplanabilir. Sonuçların yorumlanması aşamasında, sistem ya da ürün ile ilgili çıkarımlar ve tavsiyeler sunulmaktadır (ISO 14040, 2006).

Orta nokta yaklaşımı ile yapılan envanter analizinden elde edilen veriler; küresel ısınma, fotokimyasal sis oluşumu, asidifikasyon, yenilenemeyen enerji, ötrofikasyon, ozon tabakası incilmesi gibi kategorilerde sınıflandırılmaktadır. Bu verilerin standart modeller yardımıyla birleşmesi ile son nokta yaklaşımı kategorisinde bulunan veriler elde edilmektedir (Çizelge 2.1). Son nokta yaklaşımında bu kategoriler insan sağlığı, ekosistem, iklim değişimi ve kaynaklar gibi kategorilerde sınıflandırılır. Her iki yaklaşım olumlu ve olumsuz yönleri sahiptir (Reap vd., 2008). UNEP ve SETAC iki yaklaşımın güçlü yönlerinden yararlanılmasını önermiştir (Joliet vd., 2004). Son nokta yaklaşımında çevresel etkiler daha büyük kapsamda değerlendirildiği için analizde belirsizliklere sebep olmaktadır.

Orta nokta yaklaşımı bu açıdan daha doğru sonuçlar veren bir yaklaşım sunmaktadır (Bare vd., 2000).

Çizelge 2.1 : YDA sonuçlarının orta ve son nokta yaklaşım sınıfları (Öztaş, 2014).

	Orta nokta kategorisi	Son nokta kategorisi
YDA Sonuçları	İnsan zehirlenmesi	İnsan sağlığı
	Solunum etkisi	İnsan sağlığı
	İyon radyasyonu	İnsan sağlığı
	Ozon tabakası incelmeleri	İnsan sağlığı- Ekosistem
	Fotokimyasal sis oluşumu	İnsan sağlığı- Ekosistem
	Ekolojik zehirlilik	Ekosistem
	Ötrofikasyon	Ekosistem
	Asidifikasyon	Ekosistem
	Arazi kullanımı	Ekosistem
	Küresel ısınma	İklim değişimi
	Yenilenemeyen kaynaklar	Kaynaklar
	Mineral kaynaklar	Kaynaklar

Yabancı ülkeleri veya ürünleri içeren bir sistem üzerinde bir çalışma yapılırken veya farklı coğrafi konumlar, karşılaştırılan ürünler veya süreçler arasında temel bir fark olduğunda, küresel boyutlar dikkate alınmalıdır. Bir uzlaşma olarak, belirli bir coğrafi veri bulunmadığında, diğer ülkelerde meydana gelen uygulamaların tipik olarak yerel muadilleriyle aynı olduğu varsayılır (SAIC).

2.1.2 Yaşam döngüsü analizi performans göstergeleri

BRE, yapıların ya da ürünlerin çevresel etkisini değerlendirmek için performans göstergeleri belirlemiştir. YDA ile küresel ısınma potansiyeli (iklim değişikliği), stratosferik ozon incelme, asidifikasyon, ötrofikasyon ve fosil yakıt tüketimi belirlenebilecek değerlerin birkaçıdır (BRE). Çevresel etki analizlerinde kullanılan performans göstergeleri ve temsil ettikleri etki alanları aşağıda açıklanmıştır.

GWP: Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential-kgCO₂ eşd.): Küresel ısınma potansiyeli ilgili GWP faktörleriyle çarpılan sera gazı emisyonlarının (CO₂, N₂O, CH₄ ve VOC' lar) toplamını ifade eder (VOC: Volatile Organic Compounds – Uçucu Organik Bileşikler). Küresel ısınma, atmosferin ısınmasına yol açarak iklim değişikliğini ifade eden bir kavramdır. Küresel ısınma üzerinde en büyük etkiye sahip olan insan faaliyetlerinden biri de petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların yakılmasıdır. Yaşam döngüsü analizinde küresel ısınma, salınan karbondioksitin eşdeğer ağırlığı cinsinden ifade edilir. Bir gazın küresel ısınma potansiyeli, 1 değeri atanan referans gazı CO₂'nin bir birimine göre o gazın bir biriminin emisyonundan kaynaklanan küresel ısınmaya toplam katkıyı ifade eder. Örneğin, 1 birim CH₄ (metan) 25 birimlik küresel ısınma potansiyeline sahiptir. Bunun

anlamı 1 kg metanın iklim değışikliğı üzerinde 25 kg CO₂ ile aynı etkiye sahip olduğı ve dolayısıyla 1 kg CH₄'ün 25 kg CO₂ eşdeğeri sayılacağıdır.

ODP: Ozon İncelmesi Potansiyeli (Ozone Depletion Potential-kgCFC11 eşd.): Ozon tabakasını inceltme potansiyeli kategorisi, ozon tabakasına ulaştığında, ozon molekülleri ile tepkimeye girerek incelten, kloroflorohidrokarbonlar (CFC'ler) ve klorlu hidrokarbonlar (HC'ler) emisyonlarının potansiyelini gösterir. Ozon tabakasının hasar görmesi, UV ışığının dünya atmosferine girmesini engelleme yeteneğini azaltır ve dünya yüzeyine çarpan kanserojen UVB ışığı miktarını artırır. Yaşam döngüsü analizinde ozon tabakasının incelmesi, yayılan CFC-11'in eşdeğer ağırlığı cinsinden ifade edilir.

POCP: Fotokimyasal Oksidasyon Oluşma Potansiyeli (Formation Potential of Tropospheric Ozone Photochemical Oxidants- kg NMVOC eşd & kg C₂H₄ eşd.): Fotokimyasal oksidanlar oluşturma potansiyeli veya fotokimyasal duman, insan sağlığına ve ekosistemlere zarar veren ve aynı zamanda ekinlere de zarar verebilecek reaktif maddelerin (esas olarak ozon) oluşumudur. Bu sorun aynı zamanda “yaz dumanı” ile de belirtilir. POCP'a katkıda bulunan türler: VOC (uçucu organik bileşikler), alkanlar, halojenli HC'ler, alkoller, ketonlar, esterler, eterler, olefinler, asetilenler, aromatikler ve aldehitlerdir. Yaşam döngüsü analizinde POCP, kg C₂H₄ veya kg NMVOC eşdeğeri cinsinden ifade edilir. Güneşin ışık enerjisinin neden olduğı kimyasal reaksiyonlardır. Azot oksitlerin güneş ışığı varlığında hidrokarbonlarla reaksiyona girerek ozon oluşturma fotokimyasal reaksiyona bir örnektir.

AP: Asidifikasyon Potansiyeli (Acidification Potential-kgSO₂ eşd. & mol H⁺ eşd.): Asitleştirme potansiyeli, SO₂, NO_x, HCl, NH₃ ve HF'nin potansiyel asit birikimine katkılarına, H⁺ iyonları oluşturma potansiyellerine dayanır. Asidifikasyon, asitleştirici maddelerin toprak, yer altı su yolları, yer altı suları, organizmalar, ekosistemler ve malzemeler üzerindeki toksik etkisini ifade eden bir etki kategorisidir. Asidik gazların atmosferdeki suyla tepkimesi 'asit yağmuru' oluşturur. Asit yağmurlarının oluşumu biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olur. Yaşam döngüsü analizinde asitleşme, salınan eşdeğer kükürt dioksit (SO₂) ağırlığı ya da hidrojen iyonu (H⁺) cinsinden ifade edilir. Asitleştirici madde emisyonlarının ana kaynakları, tarım ve elektrik üretimi, ısınma ve ulaşım için kullanılan fosil yakıtların yakılmasıdır.

EP: Ötrofikasyon Potansiyeli (Eutrophication Potential-kgPO₄⁻³ eşd. & P eşd.): Suların ve kıtasal yüzeylerin besinlerle aşırı zenginleştirilmesi ve buna bağlı olumsuz

biyolojik etkileri ifade eder. Nehirlere, göllere veya okyanusa besin eklenmesinin neden olduğu, sucul ekosistemlerde bitki örtüsünün anormal bir şekilde çoğalmasdır. Ötrofikasyon potansiyeli esas olarak fosfat ve nitratların suya emisyonundan etkilenir. Oluşumu, ekosistemlerin zarar görmesine, sucul fauna ve floranın ölüm oranlarının artmasına ve düşük besin ortamlarına bağımlı türlerin kaybına yol açabilir. Yaşam döngüsü analizinde EP, P eşd. ya da PO_4^{-3} eşd. kütlesi olarak ifade edilir. NO_x , NH_4^+ , N, PO_4^{-3} ve P emisyonlarının etkisidir.

ADPE: Fosil Olmayan Kaynak Kullanım Potansiyeli (Abiotic Depletion Potential for Non-Fossil Resources-kgSb eşd.): Kullanıma bağılı tükenmeyen yenilenebilir kaynakları ifade etmektedir. Fosil olmayan kaynakların tükenmesi Sb eşdeğeri cinsinden ifade edilir.

ADPF: Fosil Kaynak Kullanım Potansiyeli (Abiotic Depletion for Fossil Resources-MJ eşd.): Abiyotik kaynakların tükenmesi (kaynağın toplam tahmini dünya rezervlerini temsil eder); fosil yakıtlar, metaller ve mineraller gibi yenilenemeyen kaynakların tükenmesini içerir yani kullanılan mineral/fosil yakıt miktarını ifade eder. Yaşam döngüsü analizinde fosil kaynakların tükenmesi MJ eşdeğeri cinsinden ifade edilir.

Yukarıda belirtilen çevresel ana etki kategorileri dışında ölçümleri yapılan birkaç kategori daha vardır.

Su yoksunluğu (Water deprivation-WDP- m^3 depriv.), Alan başına su varlığı ile alan başına talep arasındaki farkın tersini temel alır. İnsanlar veya ekosistemler için su yoksunluğunun potansiyelini ölçer ve Yaşam döngüsü analizinin orta noktasında su tüketiminin etki puanının hesaplanmasına veya ISO 14046'ya göre su kıtlığı ayak izinin hesaplanmasına hizmet eder. Bir ürünün su ayak izi, su üretiminin tüm işlem aşamalarında tüketilen veya kirletilen su miktarıdır. Bir ürünün su ayak izi, o ürünün tatlı su kaynakları üzerinde ne kadar baskı oluşturduğunu ölçer. Üretim tonu başına metreküp su veya kilogram başına litre veya libre başına galon olarak ölçülebilir. İnsan ve su ekosistemi talepleri karşılandıktan sonra, dünya ortalamasına göre belirli bir havzada yüzey birimi başına kalan mevcut suyu temel alır. Ortaya çıkan CF (1 fit küp=28 litre), 0,1 ile 100 arasında değişir ve yerel su tüketim envanteri ile çarpılması amaçlanır (International EPD System).

İnsan toksisite potansiyeli (HTP), insanlar için toksik olan salımların hava, su ve toprak olmak üzere üç farklı ortama eklenmesiyle hesaplanır. İnsan toksisite potansiyeli, gelişimin erken bir aşamasındadır, bu nedenle HTP, toksisite potansiyelinin mutlak bir ölçüsü olarak değil, yalnızca bir gösterge olarak alınabilir (International EPD System).

Ekotoksosite tatlı su (Ecotoxicity freshwater-ETP- CTUe), suda yaşayan organizmalar tarafından sudaki farklı toksik maddelerin tolere edilebilir maksimum konsantrasyonlarına dayanır. Salınan bir kimyasalın birim kütlesi başına toplam insan popülasyonundaki tahmini hastalık artışı cinsinden ifade edilir. HTP'ye benzer şekilde, ETP için sınıflandırma faktörleri hala gelişmektedir, bu nedenle yalnızca potansiyel toksisitenin bir göstergesi olarak kullanılabilir (CTUh per kg emitted = disease cases per kg emitted= kg başına yayılan hastalık vakaları) (USEtox 2022).

Partikül madde (particulate matter-PM-solunum inorganikleri), yaşam döngüsü analizinde insan sağlığına zarar veren etmenlerin etkisini araştırmayı amaçlar.

İyonlaştırıcı radyasyon (Ionising radiation-IR- kBq U-235 eşd.), Radyonüklitler, bir dizi insan faaliyeti sırasında salınabilir. Bunlar, nükleer yakıt çevrimi (nükleer yakıtın çıkarılması, işlenmesi, kullanımı veya işlenmesi) veya kömürün yakılması gibi daha geleneksel enerji üretimi sırasında olabilir. Havadaki radyonüklitler insanlar tarafından solunabilirken, tatlı suya karışan radyonüklitler açık suda yüzerken, yüzey sularından üretilen içme suyu yoluyla alınabilir veya mahsuller yoluyla gıda döngüsüne girebilir. Radyonüklitler bozunduğunda iyonlaştırıcı radyasyon salarlar. İnsanların iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalması, DNA'da değişikliklere neden olur ve bu da farklı kanser türlerine ve çeşitli kusurlara yol açabilir. Diğer canlı organizmalarda da benzer etkiler beklenmelidir, ancak şu anda ekosistemlere verilen zarar ölçülmemiştir. Dolayısıyla, kapsanan tek koruma alanı insan sağlığıdır (Steinmann ve Huijbregts, 2022).

2.1.3 YDA temelli değerlendirme sistemleri

Yaşam döngüsü analizi, inşaat sektöründe hem tüm yapının hem de sadece yapı malzemesinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Ortiz vd., 2009). Bu değerlendirmeyi yapmak için birçok araç vardır. Temelde bu araçlar yazılım ve kontrol listesi olarak iki şekilde kullanılarak yapıların çevresel etkileri hesaplanmaktadır (Şenel, 2010). YDA' yı temel alarak çevresel etki değerlendirmesi yapan sistemleri; yapının tümünü kredilendirerek ölçen sistemler, yapı malzemelerinin etkisini ortaya çıkaran sistemler ve çevresel etiketleme sistemleri olarak sınıflandırılabilir.

Yapının tümünü değerlendiren sistemler yeşil bina değerlendirme sistemleridir. BREEAM ve LEED sertifika sistemleri bunlara örnek verilebilir. Bu sistemlerin işleyişi bir kontrol listesine bağlıdır. Yapı, kullanılan sertifika sisteminin kontrol listesine göre değerlendirilir. Kontrol listelerinde her bir kriter belirli bir puana sahiptir. Sağlanan

kriterlerden elde edilen puana göre yapının çevresel etkisi ortaya konmaktadır. Değerlendirmede kullanılan kriterlerden birkaçı: arazi seçimi, su ve enerji tüketimi, ulaşım, tasarım ve iç ortam kalitesidir.

YDA kullanılarak yapı malzemelerinin çevresel etkilerini hesaplayan araçlara SimaPro, GaBi ve BEES yazılımları örnek verilebilir. Bu araçlar, yapı malzemelerinin çevresel performans göstergelerini hesaplayarak ürün deklarasyonları oluşturabilmektedir. Ayrıca, üretim bandında yapı malzemelerinin çevresel ve ekonomik performansları hakkında veriler sağlayarak malzemeleri karşılaştırmak için bir karar destek aracı oluşturur.

ISO, çevresel etiket uygulamalarını standartlaştırmıştır. ISO 14000 çevre yönetimi konusunda bir dizi standartları sunmaktadır (ISO 14001, 14004, 14020, 14031, 14040). Aslında bunlar üründen çok sistem standardını temsil etmektedir. Standartların her biri çevre ile ilgili bir bölümü tanımlamaktadır (İMSAD, 2018). ISO 14020 standardı çevre etiketi ve beyanlarının genel prensiplerini sunmaktadır. Çevre etiketleri ve beyanları üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Bunlar, ISO 14020 standardına bağlı, ISO 14024, ISO 14021 ve ISO 14025 standartları çerçevesinde Tip I, Tip II ve Tip III çevre etiketleridir (TS EN ISO 14020, 2002). Mevcut çevre etiketi tipleri ve bunların özellikleri Çizelge 2.2'de sunulmaktadır (Curran, 2015).

Çizelge 2.2 : Çevre etiketi tipleri ve özellikleri (Curran, 2015).

	Tip I	Tip II	Tip III
Sağladığı bilgi kapsamı	Niteliksel	Niteliksel/Niceliksel	Niceliksel
Kapsamı	Özel ürünler	Tüm ürün ve servisler	Tüm ürün ve servisler
Denetim ve kalite kontrolü	Eko-etiketleme kurulunun onayı	Yok	Üçüncü taraf sertifikasyonu
Hedef kitle	Tüketiciler	Tüketiciler/Profesyonel müşteriler	Profesyonel müşteriler
Standart	ISO 14024	ISO 14021	ISO 14025
Örnek	Eko-Etiketler (Örnek: AB Eko-Etiketi)	Öz beyanlar	Çevre Beyanları (Örnek: EPD)

Tip 1 etiketin amacı, çevre üzerinde daha az etkiye sahip ürün ve hizmetlerin tercih edilirliliğini arttırmaktır. Bu etiket türüne örnek: EU Ecolabel, Nordic Swan ve Blue Angel verilebilir. Tip 2 olarak bilinen çevresel beyanlar daha çok firmaların kendi bilgileri doğrultusunda beyan ettikleri ve bağımsız doğrulaması olmayan etiketleme tipleridir (İMSAD, 2018). Tip 3 çevre etiketi, yaşam döngüsü analizi ile elde edilen nicel bilgileri temsil etmektedir ve bağımsız kuruluşlar tarafından doğrulanmaktadır. Bu etiket literatürde çevresel ürün beyanı olarak adlandırılır. Çevresel ürün beyanı, yeşil bina değerlendirme sistemlerinde ve Tip I -II çevre etiketi değerlendirmeleri için kullanılmaktadır.

2.2 Çevresel Ürün Beyanları: EPD

EPD, ürünlerin çevresel etkileri hakkında şeffaf ve karşılaştırılabilir bilgileri ileten, bağımsız olarak doğrulanmış ve tescilli bir belgedir. YDA kapsamında ekonomik faaliyetlerin ekolojik ayak izini ve çeşitli emisyon ölçümlerinin sonuçlarını dikkate alır. Ürünlerin çevre performansını nicel olarak değerlendirdikten sonra beyan eden deklarasyonlardır ve yapıların çevre etki değerlendirmesinde kullanılabilir. Ülkemizde yasal bir zorunluluğu olmamakla birlikte ihracat yapılan ülkeler üreticilerden talep edebilmektedir. Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO), gönüllü seviyede hazırlanan çevre etiket tiplerini üç kategoride sınıflandırmaktadır. Bunlar, ISO 14020-25 standartları serisi çerçevesinde Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 çevre etiketleri olarak adlandırılıyor ve Tip 3, EPD belgelerini temsil eden beyanı oluşturmaktadır (EPD, 2022).

EPD belgeleri üçüncü taraflarca onaylanmış ürünün teknik özelliklerinin tanımı, üretici firma bilgilerini ve YDA ile yapılan analiz sonuçlarını içermektedir. Bu belgeler, ürünlerin çevresel performans gösterge sonuçlarını sunmaktadır. Başta yapı malzemeleri olmak üzere kimyasal ürünler, metal, yiyecek, plastik, altyapılar ve bina gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Belgelerin geçerlilik süresi yapı malzemeleri için beş yıl, diğer malzemeler için üç yıldır. Bu sürenin sonlanması ile ilgili belgenin kullanım ömrü biter fakat ürünün çevresel etkileri hakkında bilgi vermesi için belge kullanılmaya devam edilebilir. Ek olarak, belgedeki çevresel göstergelerin herhangi birinin yayınlanmış verilere göre %10' dan daha fazla kötü bir sonuç veriyorsa, EPD belgesi yenilenmelidir. Tek şirket ürününe özel EPD, proje ve ürüne özel EPD, grup EPD, sektör ve ürün ortalaması EPD olmak üzere farklı türde EPD belgeleri bulunmaktadır. Bütün EPD türleri farklı ihtiyaçları karşılamak için oluşturulmuştur. Örneğin, sektör ve ürün ortalaması EPD 'si bir endüstri birliği tarafından geliştirilir ve açıkça tanımlanmış bir sektör ve/veya coğrafi alandaki birden fazla şirketin ortalama ürününü beyan eder (International EPD System, 2022).

2.2.1 EPD belgesinin içeriği ve EPD programları

EPD, bir ürün ya da hizmetin yaşam döngüsü analizi yardımı ile çevresel etkilerini gösteren, bağımsız, doğrulanmış belgelerdir. EPD belgeleri dünyada çeşitli program operatörleri tarafından geliştirilmekte ve belgelendirilmektedir. Ülke bazında farklılık gösteren başlıca EPD program operatörleri; İsveç'te küresel ölçekte geliştirilen ilk EPD programı olan The International EPD System, Almanya'da Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), İngiltere'de BRE Global Ltd (BRE), Fransa'da INIES, Avusturya'da Bau EPD GmbH (BAU), İspanya'da Aenor ve Norveç'te EPD Norway kuruluşlarıdır. Ülkemizde

yerel bir belgelendirme yapılması için tek yetkili kayıt kurumu olan EPD Turkey kurulmuştur ve The International EPD System programının bölgesel yürütücüsüdür (Kara, 2015). EPD Turkey tarafından yapılan belgelendirme çalışması diğer ülkeler ile kıyaslandığında, en çok EPD belgesi veren ülke 2746 ile Fransa'dır. Bunu 1751 ile Almanya, 634 ile İsveç, 500 ile Norveç ve 106 belge ile Türkiye izlemektedir (Sposito ve Scalisi, 2019).

Türkiye'de YDA verilerini yani EPD belgelerini kayıt altına almak için TUBİTAK Marmara Araştırma Merkezi ve Boğaziçi Üniversitesi Sürdürülebilir Kalkınma ve Temiz Üretim Merkezi tarafından 'Ulusal Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Veri Tabanının Geliştirilmesi' başlıklı bir proje 2017 yılında başlatılmıştır (Mammadov ve Cılız, 2017). 2018 yılında geldiğinde Sürdürülebilir Üretim Ar-Ge ve Tasarım Merkezi (SÜRATAM) tarafından yapı malzemelerini çevresel performans göstergelerini uluslararası standartlarda sunan bir veritabanı olan 'Türkiye Yapı Malzemeleri Çevresel Performans Veri Tabanı (TurComDat)' ve "Türkiye Yaşam Döngüsü Veri Tabanı (TLCID)" oluşturulmuştur (SÜRATAM, 2022).

Bir EPD belgesinde bulunması gereken temel veriler: EPD programı ile ilgili bilgiler, ürünün ya da işlemin karakteristik bilgisi, çevresel performans göstergeleri bilgisi ve beyandan oluşmaktadır. EPD program bilgisinden kasıt temel bilgilerdir. Bunlar; belgenin geçerlilik süresi ve tarihi, program operatörünün ve beyanı yapan firmanın ismi varsa detaylı bilgileri, ürünün kayıt bilgisi ve PCR tanımlamasıdır. Karakteristik yani spesifik bilgiler ise ürüne özgü içeriği (kimyasal oluşum yapısı ya da işlevi gibi) temsil etmektedir. Çevresel performans bilgileri, YDA sonuçlarını sunmaktadır. YDA'ya ek olarak ürünün yaşam sonu bilgilerini de içerebilmektedir. Zorunlu beyan ise ürünün EPD doğrulama sürecini ve bu doğrulayıcı taraf hakkında bilgilendirmeyi ifade etmektedir (International EPD System, 2022).

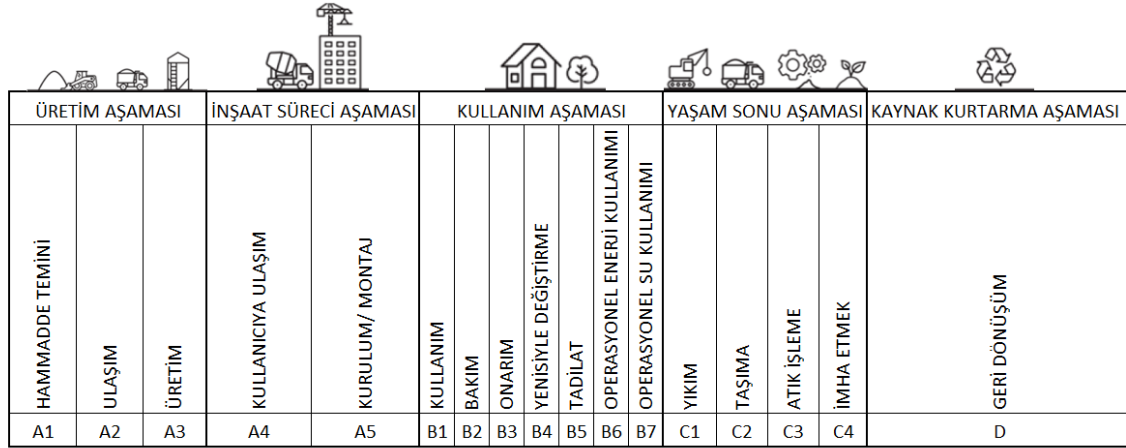
Yukarıda sayılan zorunlu başlıkların yanı sıra EPD belgeleri incelendiğinde içeriği genel olarak benzer olan bilgilerden oluşmaktadır. Bunlar; ürünün adı, ürünün tanımı, özellikleri ve işlevi, ürünün içerik beyanı (birim ve yüzdeleri ile), YDA çalışmasını yapan kuruluşun bilgileri, ürünün sınıfı, coğrafi kapsam, ürünün analize konu birimi, ürünün kullanım ömrü, YDA için kullanılan yazılım aracı ve veri tabanı, sistem sınırları ve şeması, ürünün paketlenme türü, ürünün geri dönüşüm bilgileri, YDA sonuçları, referanslar, EPD program operatörü doğrulama ve tescil bilgileri olarak ifade edilebilir (International EPD System, 2022).

EPD belgeleri 5 adımda hazırlanır. İlk adım planlamadır. Bu aşamada, malzemenin hangi ürün kategorisinde (inşaat, kimya, makine vb.) analiz edileceği belirlenerek malzeme hakkında hangi verilerin gerekli olduğu tespit edilir. Ayrıca, malzemenin hangi yaşam döneminin analizi yapılacağı ve veri toplama referans yılı da bu aşamada belirlenir. Veri toplama süreci ikinci adımı oluşturur. Toplanılacak veriler, ürünün üretim sürecinde meydana gelen ham madde kullanımı, enerji tüketimi, su tüketimi, emisyonlar ve ortaya çıkan atık verilerinden oluşmaktadır. Üçüncü adımda, yaşam döngüsü analizinin belirlenen kapsam ve hedefe uygun olarak yapılarak çevre etki değeri hesaplanır. Dördüncü adımda üçüncü taraf bağımsız doğrulayıcılar tarafından analiz süreci inceleyerek EPD belgelerinin yayınlanma aşamasına geçmeden önce hata kontrol ve ayıklamasını yaparak doğrulama işlemini gerçekleştirir. Bu sayede EPD'nin Ürün Kategori Kuralları'na uygun hazırlandığı ve sonuçlarının yapılan kabuller çerçevesinde güvenilir olduğu kabul edilebilir. Son adımda doğrulaması tamamlanan malzeme kamuya açık bir şekilde yayımlanmaktadır.

EPD belgelerinde bir malzemenin etki kategorileri, malzemenin farklı yaşam aşamalarında Şekil 2.1'de sunulduğu gibi üretim, inşaat, kullanım ömrünün sonu ve yeniden kullanım, geri kazanım veya geri dönüşüm potansiyeli olmak üzere beş aşama bulunmaktadır. Bu beş aşama harflerle anılır. Aşamalar genellikle birkaç alt faktörden oluşur. EPD yaşam döngüsü aşamaları aşağıdakileri içerir (International EPD System, 2022):

- Üretim aşaması (A1-A3), hammadde temini, üretim tesislerine ulaşım ve üretim aşamasının etkilerini gösterir. Temel olarak, her şey tedarik zinciri sırasında “beşikten kapıya” olanlarla ilgilidir.
- İnşaat aşaması (A4-A5), malzemenin üretim tesisinden çıkıp şantiye alanına taşınmasıyla başlar. Şantiyeye ulaşımın ve sahadaki inşaatın etkilerini gösterir.
- Kullanım aşaması (B1-B7), ürünün kullanımda olduğu süre boyunca çevresel etkiyi kapsar. Buna kullanımdaki emisyonlar, bakım, beklenen onarım veya değiştirme, operasyonel enerji kullanımı ve su kullanımı (varsa) dahildir.
- Ömrünün sonu aşaması (C1-C4), yıkım veya bertaraf, atık işleme, geri kazanım süreçlerinin etkisi ile ilgilidir.

EPD'de ayrıca yeniden kullanım, geri kazanım veya geri dönüşüm (D) potansiyeli hakkında bilgiler bulunabilir. Bütün çevresel etkiler her aşamada bulunmak zorunda değildir. Belge temel etki kategorilerini A1-A2-A3 aşamaları için zorunlu kılmaktadır.



Şekil 2.1 : Yaşam döngüsü aşamaları.

Şekil 2.1’de sunulan yaşam döngüsü aşamalarında A1-C4 arasındaki sınır bina/ürün yaşam döngüsü bilgisini ve A1-D ise bina/ürün değerlendirme bilgisini sunmaktadır (Lasvaux vd., 2014). YDA sonuçları; çevresel etkiler, kaynak kullanımı ve atık kategorileri olmak üzere 3 bölümde gösterilmektedir. Çevresel etkiler, küresel ısınma, asidifikasyon gibi performans göstergelerini temsil etmektedir. Kaynak tüketimi kategorisi parametrelerinin sunduğu bilgiler; hammadde kaynağı olarak kullanılmayan yenilenebilir birincil enerji kaynağı tüketimi (PERE), hammadde kaynağı olarak kullanılan yenilenebilir birincil enerji kaynağı tüketimi (PERM), toplam yenilenebilir birincil enerji kaynağı tüketimi (PERT), hammadde kaynağı olarak kullanılmayan yenilenemeyen birincil enerji kaynağı tüketimi (PENRE), hammadde kaynağı olarak kullanılan yenilenemeyen birincil enerji kaynağı tüketimi (PENRM), toplam yenilenemeyen birincil enerji kaynağı tüketimi (PENRT), ikincil malzeme tüketimi (SM), ikincil yenilenebilir yakıt tüketimi (RSF), ikincil yenilenemeyen yakıt tüketimi (NSRF), net tatlı su tüketimi (FW) olarak ifade edilir. Atık kategorilerinde; bertaraf edilen tehlikeli atık, bertaraf edilen tehlikeli olmayan atık, bertaraf edilen radyoaktif atık, tekrar kullanılan ürünler, geri dönüştürülebilen malzeme, enerji için kullanılan malzemeler, ihraç edilen elektrik ve termal enerji atık kategorisinde çalışmanın sınırları içindeki aşamalara etkilerini sunmaktadır. Yapı malzemesini temsil eden EPD belgesinin ana kategorilerinin genel sunuş şeması Çizelge 2.3-4-5’te gösterilmektedir (International EPD System, 2022).

Çizelge 2.3 : EPD belgesinin çevresel etki kategorisini temsil eden şablon.

Çevresel Etki Kategorisi					
Performans göstergesi	Birim	A1	A2	A3	Hesaplanan YDA aşamaları
Küresel ısınma potansiyeli (GWP)	(kgCO ₂ eşd.)				
Ötrofikasyon potansiyeli (EP)	(kg P eşd.)				
Asidifikasyon potansiyeli (EP)	(H ⁺ eşd.)				
"	"				
Kaynak Tüketimi Oluşumu Potansiyeli (Fosil Kaynaklardan-ADPF)	MJ				

Çizelge 2.4 : EPD belgesinin kaynak kullanımı kategorisini temsil eden şablon.

Kaynak Kullanım Kategorisi					
Performans göstergesi	Birim	A1	A2	A3	Hesaplanan YDA aşamaları
Hammadde Kaynağı Olarak Kullanılmayan Yenilenebilir Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi (PERE)	MJ				
Hammadde Kaynağı Olarak Kullanılan Yenilenebilir Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi (PERM)	MJ				
Toplam Yenilenebilir Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi (PERT)	MJ				
"	"				
İkincil Malzeme Tüketimi (SM)	MJ				

Çizelge 2.5 : EPD belgesinin atık kategorisini temsil eden şablon.

Atık Kategorisi					
Performans göstergesi	Birim	A1	A2	A3	Hesaplanan YDA aşamaları
Tehlikeli Atık Miktarı (HWD)	kg				
Tehlikesiz Atık Miktarı (NHWD)	kg				
Radyoaktif Atık Miktarı (RWD)	kg				
"	"				
Geri Dönüşüm Malzemeleri (MFR)	kg				

Yapıların çevresel performansını ölçmek için EPD belgelerinin zorunlu olması beklenmektedir. EPD belgesine sahip yapı malzemeleri yeşil bina kredilendirme araçlarında ek puan kazandırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı EPD belgelerinin öneminin artması beklenmektedir (Passer vd. 2015).

2.3 ICE Veri Tabanı

ICE veri tabanı, Bath Üniversitesi tarafından hazırlanan yapı malzemelerinin gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerini içermektedir. Hammond (2008) çalışmasında veri tabanının oluşum prensiplerini açıklamaktadır. Doktora çalışması kapsamında yapılan EPD belgelerinin değerlendirmesinde ve karşılaştırılmasında da bu kaynaktan faydalanılmıştır. Karbon ve enerji envanteri, literatürden derlenen yaklaşık 200 farklı malzemeyi listelemektedir. ICE veri tabanı başlangıçta Birleşik Krallık'taki karbon vizyon binaları programı kapsamında desteklenen çeşitli araştırma konsorsiyumları tarafından kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Daha sonra kamu erişimine sunularak endüstri, devlet daireleri gibi kullanıcılardan geri bildirimler alınmıştır. Bu geri bildirimler, toplanan veriler arasından en

uygun karbon ve enerji değerine sahip olan verinin envantere dahil edilmesinde önemli rol oynamıştır. Yayınlanan veriler; malzemenin sınır tanımı (yaşam evresi, coğrafi kapsam gibi), veri kaynağının yaşı ve malzeme için yapılan yaşam döngüsü analizinin ayrıntılı yapılması indislerine bağlıdır. Veri tabanı başlangıçta Birleşik Krallık inşaat sektörüne yönelik yapılmış fakat daha sonra tüm dünyada oldukça geniş bir uygulama alanı edinmiştir. ICE’de girdi verilerinin çoğunluğu ikincil veri kaynaklarından oluşmaktadır. Veri tabanının ilk oluşumu Boustead ve Hancock'un el kitabından alınan ilk gömülü enerji değerleri ile CIBSE kılavuzunda belirtilen materyallerle gerçekleştirilmişken envanterdeki malzeme sayısı daha sonra genişletilerek yaklaşık dört yüzden fazla malzemenin gömülü enerji ve karbon değerini içerir duruma gelmiştir (Hammond, 2008).

Orijinal veri tabanının genişletilmesi, gömülü enerji analizleri ve YDA çalışmalarından elde edilen gömülü enerji ve karbon değerlerine dayanmaktadır. Bu genişletme aşağıda sunulan 5 kriteri temel alarak literatürden yaşam döngüsü envanteri ve analizi, girdilerini hakemli dergilerin makalelerinden, teknik raporlardan ve monografilerden elde edilerek derlenmektedir. Envantere dahil edilen malzemelerin tutarlı olması için dikkat edilen 5 kriter aşağıda sunulmuştur (Hammond, 2008).

- 1. Onaylanmış metodolojilere/standartlara uygunluk:** Verilerin ISO 14040/44 uyumlu olmasına rağmen standarda uygun verilerde bile önemli farklılıklar olabilmektedir. Bu nedenle daha fazla veri kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, metal üretimi için uygulanan cevher işleme yöntemleri veya geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı çevre etki değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir.
- 2. Sistem sınırları:** Analizin beşikten sahaya ya da beşikten kapıya yapılması durumlarıdır. Bu sınırlar içinde malzeme üretimi için kullanılan hammadde enerjisi önemlidir. Enerji hesabı, yalnızca fosil kaynak kullanımı gibi kalıcı kaynakların kullanılması durumunu belirtmektedir. Plastik üretimi gibi hammadde olarak fosil yakıtların kullanıldığı malzemelerde de hem hammadde olarak hem de yakıt olarak kullanılan fosil kaynaklar hesaplamalara dâhil edilmektedir. Fakat ahşabın kalorifik değeri hesaplamalara dahil edilmez. Bu yaklaşım BRE de dahil yayınlanmış birçok çalışmanın metodolojisiyle tutarlıdır. Kereste gibi organik malzemelerin karbon tutma miktarları verilere entegre edilmemiştir.
- 3. Verilerin kaynağı:** Çalışmanın başlangıcında veri tabanı Birleşik Krallık için hazırlandığından dolayı, derlenen verilerin Britanya Adaları'ndan gelen verilerle sınırlı olması amaçlanırken çoğu malzeme için belirtilen kısıtın dışına çıkılarak Avrupa ve

dünya genelindeki veriler kullanılarak yabancı kaynaklardan elde edilen gömülü enerji verileri de sisteme dahil edilmiştir.

4. Verinin yaşı: Üretim veriminin teknolojik gelişmelere bağlı olarak iyileşmesi veya hammadde fiyatlarının değişimine bağlı olarak farklı hammadde kullanılması nedeniyle verilerin yaşı çevre etki parametrelerinin hesabı için önemlidir. Bu nedenle güncel verilerin kullanımı tercih edilmelidir.

5. Gömülü karbon: İdeal veriler üzerinden özenli bir şekilde yapılan YDA aracılığı ile gömülü karbon değeri elde edilir. Veri tabanında yakıtla ilgili karbon değeri hesaplanırken bulunmayan veriler için tahmini İngiliz emisyon faktörleri kullanılmıştır.

ICE veri tabanında seçim kriterlerinin yanı sıra birkaç kabul daha vardır. Veri tabanı için seçilen gömülü değerlerin olabildiğince Birleşik Krallık pazarını temsil etmesi amaçlanmıştır. Metaller için veri toplanırken öncelikle ham ve geri dönüştürülmüş malzemelerin oranları tahmin edilir ve ardından sıklıkla kullanılan metalleri temsil etmek için tipik bir geri dönüşüm oranı tayin edilerek veri değeri belirlenmiştir. Kontraplak, sunta gibi tipik bir kereste türü ile ilgili bilgi bulunmadığı durumlarda temsili değerleri tahmin etmek için Birleşik Krallık'taki tipik ürünlerin tahmini tüketimi belirlenerek hesaplanmıştır. Ayrıca çelik gibi ürünlerde hammaddeden ziyade profil, levha gibi yarı işlenmiş malzemeleri temsil eden veriler tercih edilmektedir.

2.4 Isıtma Enerjisi İhtiyacı: TSE 825

Tez çalışmasında yapılarda gerekli net ısıtma enerjisini belirlemek için TSE 825 standardında tarif edilen hesap yöntemi uygulanmıştır. Amaç, binaların ısıtılmasında kullanılan enerjiyi yönetmektir. Ayrıca enerji tasarrufu projeleri için de standarttan faydalanılmaktadır. Bir yapının ısıtma enerjisi etkileyen faktörler (TSE 825):

- Bina özellikleri: Binayı dış ortamla ayıran kabuk sistemlerini oluşturan yapı malzemeleri, bunların kalınlığı ve ısı karakteristlik değerleri binanın ısı karakteristlik özelliklerini oluşturmaktadır. Bu özellikler de iletim, taşınım ve havalandırma yolu ile gerçekleşen ısı kayıplarını ve ısı kazanımlarını etkilemektedir.
- Isıtma sisteminin karakteristikleri: Yapıda kullanılan enerji kazanım sisteminin, ısıtma enerjisi talebindeki dalgalanmayı ne hızda karşıladığı ısı enerjisini etkilemektedir.
- İç iklim şartları: Yapı kullanıcılarının farklı gün ve zamanda istediği sıcaklıkların değişmesini ifade etmektedir.

- Dış iklim şartları: Yapı ısıtma alanı dışında kalan hava sıcaklığını, rüzgâr yönünü ve şiddetini belirtir.
- İç ısı kazançları: Isıtma sistemi kaynaklı olmayan fakat yapıda ısıtmaya yardımcı olan durumları temsil eder. Yemek pişirme, aydınlatma gibi.
- Güneş enerjisi: Yapının saydam elemanlarından ısıtma alanına gelen güneş enerjisi miktarıdır.

Yukarıda sunulan maddeler yapının ısıtma enerjisi ihtiyacını belirlemede etkilidir. TSE 825'te belirtilen hesap metodunda; iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları ile iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançları dikkate alınmıştır.

2.5 İlgili Çalışmalar

Çalışmanın bu bölümünde, önceki bölümlerde açıklanan konular ile ilgili literatürde yapılan araştırmaların bir özeti sunulmaktadır.

Çevresel problemler günümüzün en önemli sorunlarından biridir. İnşaat sektörü artan konut taleplerini karşılarken doğanın ekolojik dengesine zarar vermektedir. Yapım projeleri kullanım aşamasının yanı sıra yapı malzemelerinin üretimi ve inşaat aşamasında da çevreye zarar vermektedir. Yapı malzemelerinden kaynaklanan çevresel etkilerin belirlenmesi bir ihtiyaç haline gelmiştir. Marzouk ve Elshaboury (2022) tarafından, inşaat sektöründe gömülü enerji ile ilgili kapsamlı bir literatür araştırması yapılmış ve gömülü enerjinin başlıca araştırma alanlarının; sürdürülebilir yapı malzemeleri, bilgi teknolojisi, çevresel etki duyarlılık analizi, bina türü ve bileşimi, binaların yaşam döngüsü enerji kullanımı, tahmin yöntemleri ve yaşam döngüsü analizi olduğu belirtilmiştir. Guan vd. (2015), yapı malzemesi tercihinin gömülü enerji üzerinde önemli etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Yapıların inşasında ve gerekli malzemelerin üretiminde harcanan enerji %10-30 arasında, işletme enerjisi %65-90 arasında, yıkım için gereken enerji ise genellikle %4 civarında olduğu hesaplanmıştır. Adalberth (1997b) bir konut binasının inşaat ve 50 yıllık kullanım sonucu toplam enerji tüketimini 7600–8800 kWh/m² olarak hesaplamıştır. Fay vd. (2000) Melbourne kentinde müstakil bir evin yaşam döngüsü enerjisini araştırmışlar ve yapının yalıtım katmanlarının artırılması ile ortalama 12 yıl içinde yaşam döngüsünde gömülü enerjinin geri ödendiği belirlemişlerdir. Yapının 50 yıllık yaşam dönemi için toplam enerji tüketimi 76 GJ/m² bulunmuştur. Ek yalıtım, evin toplam enerjisini 3,4 GJ/m² azaltmasına rağmen elde edilen tasarruf 100 yıllık yaşam döngüsü boyunca toplam gömülü ve işletim enerjilerinin %6'sından azdır. Asif ve diğerleri (2007) ahşap, alüminyum, cam, beton ve seramik karo malzemeleri

üzerinden yarı müstakil bir evin gömülü enerji ve gömülü karbon miktarını incelemişlerdir. Malzemelerin gömülü enerji miktarı %61'ini beton oluşturacak şekilde 227,4 GJ olarak hesaplanmıştır. Karbondioksit emisyonunun önemli bir miktarını ise harç ve beton oluşturacak şekilde 120 ton olarak hesaplanmıştır. Karimpour vd. (2014), yaşam döngüsü enerji analizlerinde gömülü enerjinin göz ardı edilmeyecek paya sahip olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle ılıman bölgelerde inşa edilen yapılardaki toplam enerjinin %35'ini gömülü enerji oluşturmaktadır. Shukla vd. (2009) kerpiç evlerin geleneksel binalara göre daha az gömülü enerji ve karbona sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Dixit vd. (2010) gömülü karbon çalışmalarında tutarlı ve karşılaştırılabilir bir veri tabanının geliştirilmesi için literatür analizi yapmıştır. Yapılan çalışmaların doğruluğunu geliştirmek için tek tip hesaplama yönteminin tanıtılması gerektiği belirtilmiştir. Ekundayo vd. (2012) gömülü karbon tahmini için bazı açık kaynaklı araçları karşılaştırarak sınır tanımları, ölçüm birimleri ve metodolojik hesaplamalarda farklılıklar bulunduğunu belirtmiştir. Gömülü karbon tahmini için inşaat endüstrisi tarafından kabul edilen bir veri yapısı ve ortak yöntemin gerekli olduğunu, ayrıca bir veri tabanı ile metraj listesinin eşleştirilip sürdürülebilirlik analizi yapan bir uygulamayla sorunun çözülebileceğini belirtmiştir. Marosky vd. (2007) CAD ve çevresel değerlendirme araçları arasında veri aktarım arayüzlerinin geliştirilmesini başlatmak için, “CAD-SolidEdge” ve “LCA-SimaPro” arasında karşılıklı veri aktarımını açıklayan bir algoritma geliştirmiştir. Bettemir (2016), geçici afet yapılarının inşası ve kullanım süresi boyunca karbon salınımını ve maliyet karşılaştırmasını yapmıştır. Erzurum ve Bettemir (2021, 2022) çalışmalarında örnek bir yapıda gömülü enerjiyi ve karbonu analiz etmişlerdir. Analizlerde yapı iş kalemlerine ayrılarak, her bir iş kaleminin için poz tarifleri hazırlanmış ve hesap cetveli temelli bir uygulama ile çevresel etki hesaplamaları metraj verilerinden malzeme miktarlarına geçilerek yapılmıştır. Ayrıca, çalışmada yapıların çevresel etkilerini hesaplamak için gerekli olan birçok yapı malzemesinin birim ağırlıkları da sunulmuştur. Erzurum ve Bettemir (2023) çalışmasında tek katlı bir yapının toplam gömülü enerji, gömülü karbon ve inşaat maliyetini farklı imalat ve yapı malzemelerinin kullanımını dikkate alınarak hesaplamıştır. Yapıyı oluşturan 17 iş kalemi için farklı alternatifler oluşturmuştur. Analiz sonucunda temel inşaat işlerinin gömülü enerjiyi en çok etkilediği ve beton, çatı işleri ve donatının ise gömülü karbonu en çok etkilediği belirlenmiştir. Bunun dışında gömülü enerji ve karbon değeri düşük malzemelerin tercihinin inşaat maliyetinde düşüş sağlayabileceği belirtilmiştir.

Sartori ve Hestnes (2007) geleneksel ve düşük enerjili binalar arasındaki enerji kullanımını araştırmak için 60 vaka çalışmasını inceleyerek düşük enerjili binaların toplam yaşam döngüsü enerjisinde azalışa, gömülü enerjide artışa neden olduğunu belirlemişlerdir. Bir binanın yaşam döngüsü karbonunu azaltmayı amaçlarken, sadece işletme dönemindeki karbonu değil aynı zamanda inşaat yani gömülü dönemdeki karbonu da azaltmaya odaklanılması gerektiği tavsiye edilmiştir. Adalberth vd. (2001) sera gazı potansiyeli, asidifikasyon, ötrofikasyon, fotokimyasal ozon oluşturma potansiyelleri ve insan toksisitesi çevresel etkilerini 4 yapı için 50 yıllık yaşam döngü süresini temel alarak analiz etmiştir. En yüksek çevresel etkiye yaşam döngüsü toplamının yaklaşık %70-90'ı olan işletme aşaması sahiptir. Tüm binalar için toplam küresel ısınma potansiyeli yaklaşık 1,5 tonCO₂ eşd./m²/50 yıldır. Toplam asitlenme yaklaşık 8–10 kgSO₂ eşd./m²/50 yıl, ötrofikasyon her bina için yaklaşık 4–5 kg NO₃ eşd./m²/50 yıl olarak hesaplanmıştır. Enerji kullanımı, işletme aşamasında %70'i ısı kullanımından kaynaklanan toplam fotokimyasal ozon oluşumunun yaklaşık %75-80'ini oluşturmaktadır. Çalışmanın sonuçları kullanım aşamasının %70-90 ile en yüksek çevresel etkiye sahip olduğunu belirtmektedir. İkinci baskın zaman aşaması, %10-20 ile yapı ve tesisat malzemelerinin imalatıdır.

Rodrigues vd. (2018) endüstriyel bir binanın 508,57 kgCO₂-eşd./m²'lik bir gömülü karbona ve 4908,68 MJ/m²'lik bir gömülü enerjiye sahip olduğunu ve ana katkının yapı malzemeleri olduğunu belirtmiştir. De Wolf (2014) ise 200 mevcut binanın araştırılması ile malzeme miktarlarının tipik olarak 500 ila 1500 kg/m² arasında değiştiğini ve GWP'nin ise tipik olarak 200 ila 700 kgCO₂-eşd./m² arasında değiştiğini belirtmiştir. Araştırmacı ayrıca gömülü karbon karakterizasyon katsayılarının (ECC) farklı veri tabanları arasındaki değişkenliğini anlamak için ICE ve Athena tarafından elde edilen çimento ve beton değerlerini incelemiştir. Özellikle beton için ECC, dayanıma, çimento miktarına, uçucu kül yüzdesine ve yüksek fırın içeriğine bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir. Örneğin, C16/20 geleneksel betonun ICE veri tabanındaki karakterizasyon faktörü 0,100 ve Athena veri tabanındaki ise 0,091'dir. Bunun yanı sıra, betonarme durumunda donatının (inşaat demiri) çevresel etkisi dikkate alınmalıdır: ICE, m³ başına her 100 kg inşaat demiri için 0,77 eklenmesini önermektedir. Farklı beton mukavemetleri ve inşaat demiri içerikleri ile sonuçlar m³ başına büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Mevcut gömülü ECC'lerde güvenilirliği sağlamak amacıyla bu aşırı değişkenliği yorumlamak için kritik bir çalışmaya ihtiyaç olduğu belirtilmektedir. Chastas vd. (2018) gömülü karbon emisyonlarının aralığını belirlemek için konut binalarına ilişkin 95 vaka çalışmasını analiz etmiştir. Değerlendirme,

179,3-1050 kgCO₂-eşd./m² (50 yıllık bina ömrü) arasında bir dizi gömülü karbon emisyonu tanımlar; bu, toplam yaşam döngüsü etkisinde %9 ile %80 arasındaki bir payı yansıtır. Aynı pay, gömülü enerji için de benzer eğilimi takip etmekte ve geleneksel için %9 ila %22, pasif için %32 ila %38 ve düşük enerjili binalar için %21 ila %57 arasında değişmektedir.

Emami vd. (2016), bir okul binasının küresel ısınma potansiyeli, ozon tabakasının tükenme potansiyeli, insan toksisitesi, asitlenme ve ötrofikasyon açısından toplam çevresel etkilerini hesaplamıştır. Örnek yapının bina kabuğunda, zemin döşemelerinde ve iç duvarlarında uygulanan kaynakların çevresel etkileri incelenmiştir. Çalışmanın seçilen kapsamı için binada kullanılan malzemelerden brüt taban alanının metrekaresi başına 255 kgCO₂ eşdeğer/m², 1,36x10⁻⁶ kg CFC11 eşdeğer/m², 3,23x10⁻⁵ CTUh/m², 0,88 mol H⁺ eşdeğer/m² ve 2,28 mol N eşdeğer/m² bulunmuştur. Çalışmanın kapsamı, EN 15804 standardında belirtilen dört adet A1–A4 kullanım öncesi faz modülünü kapsamaktadır. Toplam küresel ısınma potansiyeli etkisinin düşük olması sistem sınırlarından kaynaklanmaktadır. Beton, donatı ve alüminyum pencereler kriterlere ana katkıda bulunan yapı elemanları olarak belirlenmiş ve toplamda değerlendirilen genel etkilerin %35 ila %81'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. Çevresel değerlendirme sonuçlarına göre, beton ve donatı kullanımının azaltılması, binanın genel çevresel etkileri açısından yüksek verimli sonuçlara sahip olacaktır. Taşımanın etkisi, çok uzun taşıma mesafelerine rağmen toplam GWP'nin yalnızca %5'inin nedeni olarak bulunmuştur ancak AP ve EP için çok daha yüksek bir etki vermiştir. Araştırmada yaygın olarak kullanılan YDA programı GaBi 6.0 ve SimaPro kullanılmıştır. Çoğu malzeme için bu veritabanları kullanılmış, ancak yerel olarak üretilen malzemeler, beton ve taş yünü için yerel verilerle yeni envanterler yapılmıştır. GaBi ve SimaPro veritabanları arasındaki ODP yoğunlukları karşılaştırıldığında önemli bir fark gözlenmiştir. Donatı, ODP, HT, EP ve AP etkilerine en büyük katkıyı sağlar ve toplam ODP, HT, EP ve AP etkilerinin sırasıyla %34, %30, %35 ve %33'ünü oluşturur. ODP etkisine bakıldığında betonun katkısı ihmal edilebilir düzeyde görünmektedir. Bununla birlikte, GaBi ve SimaPro veritabanları arasındaki ODP yoğunlukları karşılaştırıldığında, GaBi ve SimaPro'da 1 kg beton başına etki faktörlerinin sırasıyla 1,74x10⁻¹² ve 3,71x10⁻⁹ olmak üzere önemli ölçüde farklı olduğu belirtilmektedir.

Takano vd. (2014), YDA'ların oluşturulmasıyla ilgili mevcut veri tabanlarındaki sayısal ve metodolojik farklılıkları araştırmıştır. Seçilen beş veri tabanı (GaBi, ecoinvent, IBO, CFP, Synergia), üç referans binanın, farklı çerçeve tiplerine sahip iki ahşap binanın ve bir prekast beton çerçeveli binanın malzeme üretim aşamasındaki sera gazı (GHG) emisyon

değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada veri tabanlarının değerlendirme sonuçlarında benzer eğilimler gösterdiğini ve referans binalar arasındaki aynı büyüklükteki farklılıkların tüm veri tabanlarında gösterildiğini belirtmektedir. Veri tabanları arasındaki sayısal farklılıkların bazı noktalarda oldukça büyük olduğu ve farklılıkların birden fazla veri unsurundan kaynaklandığı da ortaya çıkmaktadır. Bulgular, karşılaştırmalı değerlendirme için veri sayısının ve değerlerin temellerinin açık bir şekilde ifade edilmesinin önemini göstermektedir. Veri tabanları arasında metodolojileri birleştirmeye çalışmak yerine YDA'lara yönelik bir raporlama ve iletişim sistemi geliştirmenin daha gerçekçi olacağı tavsiye edilmektedir. Açık bilgilerin optimizasyonu, YDA veri tabanlarının daha da geliştirilmesi açısından önemlidir. Peereboom vd. (1998), büyük farklılıklara neden olan veri öğelerini tanımlamak için içlerinde SimaPro'nun da olduğu yaygın olarak kullanılan altı Avrupa yaşam döngüsü envanteri veri setinin bir karşılaştırmasını gerçekleştirerek bu öğelerin, polivinil klorür üretimi üzerinde yürütülen bir YDA'nın sonucu üzerindeki etkisini gözlemlemiştir. Araştırmanın temel bulgusu, YDA sonuçlarında büyük sayısal farklılıklara neden olan spesifik veri unsurlarının coğrafi ve zamansal faktörler, teknolojik temsil edilebilirlik, sistem sınırları, tahsis yöntemleri ve envanterler için farklı kategori tanımları olduğu yönündedir. Sonuç, aynı ürün üzerinde yapılan YDA çalışmalarında bile farklı veri kümelerinin farklı sonuçlara yol açacağını göstermiştir. Bu nedenle yazarlar veri seti için uygun ve açık bir açıklama, düzenli güncelleme ve veri setinin yüksek şeffaflığı ve güvenilirliğini önermişlerdir.

YDA verileri ve hesaplama yöntemleri, YDA'daki çevresel etkiyi ölçmek için temel yapıyı sağlar. İncelenen vaka çalışmalarında YDA tercihleri farklılık göstermektedir. YDA yöntemleri olarak CML, Impact 2002+, IPCC 2007 ve Athena kullananların çoğu, yaşam döngüsü verileri için ise Ecoinvent, Ökoinventare ve Athena Institute Database'i kullanmaktadır (Chastas, 2018). Farklı veri tabanlarının ve yöntemlerin kullanılması, YDA sonuçlarında değişiklik oluşturmakta (Emami vd., 2016) ve bu durum yaşam döngüsü aşamalarının bir binanın toplam çevresel etkisine katkısında %0 ila %5 arasında bir sapmaya yol açabilmektedir (Ortiz-Rodríguez vd., 2010). Örneğin, bir vaka çalışması, bir çelik ve yığma ev için sırasıyla temel bir YDA aracı ve EQUER ile hesaplanan gömülü (%125,71 ve %5,6) ve işletme karbonunda (%20 ve %-0,3) bir varyasyonla sonuçlanmıştır (Rossi vd., 2012). Siegenthaler vd. (2005) YDA yazılımları ile ilgili yaptıkları bir araştırmada yaklaşık 27 adet YDA yazılımının bulunduğunu ve bunların kullanıldıkları sektörleri belirlemişlerdir. Çalışmadaki yazılımlardan SimaPro'nun tüm endüstriyel sektörlere yönelik olduğu ve %17

oranında tercih edildiği belirtilmiştir. Doğrudan inşaat sektörü için iki yazılım vardır ve tercih oranları %3' tür. Bu oranlar inşaat sektörünün bu alanda özellikle üretim aşamasında etkin araçlara ihtiyaç duyduğunu destekler niteliktedir. Benzer şekilde Silva vd. (2017) çalışmasında GaBi, openLCA, SimaPro ve Umberto gibi YDA için dünyanın önde gelen yazılım araçlarını karşılaştırmışlar ve uygulama araçlarının kullanıcı dostu olmadığını belirtmişlerdir.

Yapıların yaşam döngüsünde gömülü enerjinin etkisini farklı oranlarda bulan çalışmalar vardır (Treloar vd., 2000; Junnila vd., 2003; Junnila ve Horvath, 2003). Kayaçetin ve Tanyer (2020) konut projelerini gömülü karbon açısından değerlendiren kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. İncelenen yapıları mahallerine göre birim alanın sorumlu olduğu karbonun miktarı hesaplanmıştır. Çalışmada, yapının çevresi dahil hesaplamalarında birim alanına ortalama 409,2 kgCO₂-eşd. emisyonu sahip olduğu belirtilmektedir. Bu toplam emisyonun %66,6'sını bina yapısı, %9,1'ini peyzaj çalışmaları ve %24,3'ünü ise ulaşım altyapısı oluşturmaktadır.

RICS (2014) yapılarda gömülü karbon emisyonlarının beşikten kapıya sınır değerlerinde nasıl hesaplanacağı konusunda detaylı bir araştırma ve örnek sunmuştur. Bunun yanında gömülü karbon hesabı için veri ve araç eksikliği olduğu belirtilmiştir. Birleşik Krallık inovasyon ve gelişme ekibi (2006) raporlarında, inşaat sektörü için karbondioksit emisyonlarının oranını yaşam döngüsü içinde 6 aşamada incelemiştir. Her aşama ve emisyonundaki payı ise tasarım %0,5, imalat %15, dağıtım %1, inşaat %1, işletme %83, yenileme/yıkım %0,4 olarak belirtilmiştir. İşletme aşamasında en büyük emisyonu sırası ile market, ofis konut ve depo yapı türleri açığa çıkartmaktadır. Endüstriyel atıkların agrega ve çimento katkısı olarak kullanılması gömülü enerji, karbon salınımı ve inşaat maliyetini azaltmaktadır (HM Government, 2006).

Langston vd. (2018) Hong Kong ve Melbourne'da yeni inşa edilmiş ve yenilenmiş binaların gömülü karbon ve maliyet ilişkisini araştırmıştır. Hong Kong bulgularında, yenilenmiş binalar için gömülü karbonun yeni inşa edilen projelerden %33-39 daha düşük olduğu ve yenilenmiş binaların maliyetinin yeni inşa edilen projelerden %22-50 daha düşük olduğu belirtilmiştir. Melbourne bulgularında ise, yenilenmiş binalar için gömülü karbonun yeni inşa edilen projelerden %4 daha düşük olduğu ve yenilenmiş binaların maliyetinin yeni inşa edilen projelerden %24 daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Gömülü karbon ve maliyet arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar literatürde mevcuttur (Victoria vd., 2017- Jiao vd., 2012- Copiello, 2016). Altun vd. (2020) tasarım aşamasında binalardaki ek kabuk yalıtımı

yatırımlarını enerji, yaşam döngüsü maliyeti ve sera gazı açısından incelemişlerdir. Analizler, standarda göre yapılan yatırımların yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacında %75, yaşam döngüsü maliyetinde %70, yaşam döngüsü sera gazı salınımında ise %73'e varan iyileştirme sağladığını göstermiştir. Maliyet geri ödeme süresi 7 yılın, sera gazı geri ödeme süresi ise 2 yılın altındadır.

İnşaat sektörü küresel enerji kullanımının %36'sını ve karbondioksit emisyonlarının %37'sini oluşturmaktadır (IEA, 2019). Bu nedenle yapıların çevresel etkilerini azaltmak önemli bir problemdir. Yapıların yaşam döngüsü boyunca gömülü ve operasyonel olmak üzere iki temel çevresel etkisi vardır. Aydınlatma, ısıtma, soğutma ve cihazların kullanımı operasyonel etki ve yapı malzemelerinin tedariki, imalatı, nakliyesi ve bertarafının yanı sıra inşaat, bakım ve yenileme süreçleri gömülü etki olarak verilebilir (Cabeza vd., 2014; Ibn-Mohammed vd., 2013). Gömülü etkiler arasında küresel ısınma potansiyeli, ozon tükenmesi, ekotoksosite, insan toksisitesi, fotokimyasal ozon oluşumu, asitlenme, ötrofikasyon ve kaynak tükenmesi yer almaktadır (Cabeza vd., 2014; EN, 2012). Çevresel etkiler hesaplanırken küresel ölçekte çoğunlukla tercih edildiği üzere tek etki ölçütü olarak GWP üzerinden tanımlanırsa diğer çevresel kriterlerin önemli etkilerinin göz ardı edilme riski ortaya çıkmaktadır (Anand ve Amor, 2017).

Yapıların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik ilk çalışmalar operasyonel enerji verimliliği üzerine odaklanmıştır. Operasyonel dönemdeki araştırmalar gelişimine ulaştığında yapılarda gömülü emisyonların etki payının arttığı belirlenmiştir (Ibn-Mohammed vd., 2013). Röck vd. (2020) çalışmasında yüksek enerji verimliliğine sahip yeni binaların gömülü emisyonlarının %20'den %50'ye çıktığını belirtmiştir. Bunun yanı sıra yüksek enerji verimliliğine sahip yeni binalarda enerji verimliliği önlemleri yoluyla tasarruf edilen sera gazı emisyonlarının çoğunun inşaat malzemelerinden kaynaklanan ekstra emisyonlar nedeniyle kaybolduğu vurgulanmaktadır. Yeni inşa edilen yapılardaki enerji verimliliği eğiliminin artmasıyla yapılar için gömülü çevresel etkilerin azaltılması acil bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Yapılarda gömülü karbonun azaltılması için uygulanan yöntemlerden ikisi düşük çevresel etkili malzemelerin kullanılması ve malzeme verimliliğine yönelik tasarım uygulamalarının iyileştirilmesidir (Pomponi ve Moncaster, 2016). Pomponi ve Moncaster (2016) çalışmasında gömülü enerjinin nasıl azaltılacağı konusunda literatür araştırması yaparak düşük çevresel etkili malzeme kullanımı, yeniden bina inşa etmek yerine mevcut binaların yenilenmesi, yerel malzemelerin kullanımının artması, emisyon ticaret vergisi gibi

17 azaltım stratejisi belirlemiştir. Bulgular iki temel kriteri açığa çıkarmıştır. Bunlardan ilki gömülü karbonun azaltılmasında birden çok stratejinin birlikte kullanılması gerekliliği, çünkü tek bir strateji etkili çözümü sunmamaktadır. İkincisi, tasarımcının rolünün araştırmacıların, malzeme üreticilerinin ve politika yapıcılarının rolleriyle bağlantılı olduğunu göstermiştir. Bir başka ifadeyle düşük gömülü karbonlu malzemelerin geliştirilmesi ve kullanılması daha iyi bir tasarımla iç içe geçtiğinden dolayı sürecin paydaşlarının tamamının desteğini içermektedir.

Çevresel etkileri azaltmak için düşük gömülü karbon ve gömülü enerjiye sahip alternatif malzemelerin kullanımı hakkında çeşitli çalışmalar mevcuttur. Cui vd. (2011) Hong Kong'daki 28 katlı bir konut binası için çimento, çelik, ahşap ve camdan oluşan dört temel geleneksel yapı malzemesinin yerine cüruf çimento, geri dönüştürülmüş çelik, kontrplak kalıp ve cam kırıntısı alternatif yapı malzemelerinin kullanımının CO₂ emisyonunu %34,8 azalttığını belirtmişlerdir. Vukotic vd. (2010) ahşap ve çelik çerçeveli iki farklı yapısal tasarıma sahip bir okul binasının gömülü karbon etkisini karşılaştırarak, ahşap çerçevenin çelik çerçeve alternatifinden daha düşük etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada malzeme seçiminin, malzeme tedarikinin ve bina ömrünün sonunda atık yönetiminin bir binanın yapısal elemanlarının yaşam döngüsü içindeki en önemli aşamalar olduğunu ve gömülü karbondaki en fazla azaltma olasılığını sunduğu gösterilmiştir. Ayrıca çalışma, hangi malzemenin alternatiflerinden daha iyi olduğu tartışmasının yerine yapı tasarımcılarının malzeme seçimini en iyi şekilde yönetmesinin daha etkili olduğunu belirtmektedir. Upton vd. (2008) ahşap esaslı duvar sistemlerine sahip evlerin, alternatif çelik veya beton esaslı bina sistemleri kullanan termal açıdan benzer evlere kıyasla ısıtma/soğutma dışı amaçlar için %15-16 daha az toplam enerjiye ihtiyaç duyduğunu belirtmektedir. Ayrıca ahşap esaslı evlerle ilişkili net sera gazı emisyonları, çelik veya beton esaslı bina sistemleri kullanan termal açıdan karşılaştırılabilir evlerle ilişkili emisyonlardan %20-50 daha düşüktür.

Çevresel etkileri azaltmak için yapının tasarım aşamasına odaklanan çalışmalar yapan Acquaye ve Duffy (2010) uygun tasarımın dolaylı emisyonları %20, doğrudan emisyonları %1,6 azaltılabileceğini belirtmiştir. Chau vd. (2012) Hong Kong'daki on üç katlı beton binaların yenilenmesini inceleyerek tasarımın gömülü karbonu azaltmada belirleyici olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma beş farklı malzeme kullanım seçeneğinin 60 yıllık kullanım ömrü boyunca emisyon azaltım etkilerini de değerlendirmiştir. İncelenen tüm seçenekler arasında en etkili seçeneğin CO₂ ayak izini %17,3 oranında azaltılabileceği için

mevcut yapısal ve yapısal olmayan bina elemanlarının %15-30'unu korumak olduğu belirtilmiştir. Ayrıca inşaat atıklarının geri dönüşüme yönlendirilmesi CO₂ ayak izini %5,9 oranında azaltabilmektedir. Kaynakların yeniden kullanılması ve bölgesel malzemelerin ithal edilmesi CO₂ ayak izini sırasıyla %3,2 ve %3,1 oranında azaltabilmektedir. Buna karşılık, cephelerde, döşemelerde ve bölme duvarlarda inşaat alanı dışında üretilen prefabrik benzeri malzemelerin kullanılması durumunda CO₂ ayak izinin %5 oranında artacağı vurgulanmıştır. Häkkinen vd. (2015) düşük karbonlu bir yapı tasarımına ulaşmak için tüm tasarım aşamalarını içeren hedefleri, tipik çıktıları ve kilometre taşlarını belirledikleri bir çerçeve sistem geliştirmişlerdir. Sera gazı emisyonlarını doğru bir şekilde değerlendirmek ve düşük karbonlu yapılar elde etmek için tasarım merkezliliği önermişlerdir. Basbagill vd. (2013) çevresel etkilerin azaltılması için yapılarda erken tasarım aşamasında hangi tasarım kararlarının gömülü karbonu belirgin şekilde etkilediğini araştırmışlardır. Çalışma yapı elemanı malzemesi ve bina bileşeni boyutları (kalınlık) seçimlerinin, bir binanın yaşam döngüsü çevresel etkisine katkıda bulunma açısından önemli olduğu belirtilmiştir. Duvar, zemin gibi temel yapı elemanlarının malzeme ve kalınlığa göre optimize edilmesiyle binanın maksimum toplam gömülü etkisinde %63 ile %75 arasında bir azalmanın mümkün olduğu vurgulanmıştır. Wang vd. (2005) çalışmasında erken aşamadaki pencere tipi, pencere-duvar oranı, yapı en-boy oranı, duvar katmanları ve kalınlığı gibi değişken bina tasarım parametrelerinin çevresel etki sonuçlarını değerlendirmek için BIM, YDA, enerji analizi ve optimizasyon yazılımını birlikte kullanarak tasarımcılara yardımcı olabilecek çok amaçlı bir optimizasyon modeli sunmaktadır. Minimum maliyet ve çevresel etki performansı için Pareto optimal çözümleri belirlemek amacıyla çok amaçlı genetik algoritma kullanarak küresel ısınma potansiyelinde önemli bir azalma sağlamıştır.

Zhou vd. (2023) çalışmasında yapıda gömülü ve operasyonel etkiler arasındaki dengeyi araştırmayı ve tasarım sürecinin her aşamasında belirlenen tasarım değişkenlerini değiştirerek çok amaçlı bir optimizasyon modeli ile binanın toplam çevresel etkilerindeki potansiyel azalmayı araştırmışlardır. Önerilen modelin orta katlı bir konut binasına uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar, tasarım sürecinin binanın çevresel etkilerini (karbon emisyonunu) yaklaşık %47,6 oranında azaltma potansiyeline sahip olduğu sonucunu vermiştir. Ayrıca, detaylı tasarım ve inşaat tasarımı aşamalarındaki yaklaşık %7,5'lik daha düşük emisyon azaltma potansiyeline kıyasla, karbon emisyonlarını azaltma potansiyeli erken tasarım aşamalarında daha yüksektir ve emisyonları %32,5'e kadar azaltma potansiyeli vardır. Çalışmada çevresel etkilerin tasarım aşaması ne kadar erken olursa, karbon

emisyonlarını azaltma potansiyelinin de o kadar büyük olduğu belirtilmiştir. Morel vd. (2001) konut binası için yapı malzemesi seçimi, tasarımı ve inşaat sürecinin yapı üretiminde tüketilen enerjinin azaltılması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Binaların çevresel etkilerini en aza indirmek için yerel kaynaklar ve bu kaynaklara uygun toprak ve taş duvar gibi yerel inşaat teknikleri seçilerek tipik bir beton ev ile karşılaştırılmıştır. Yerel malzemelerin kullanılmasıyla binada kullanılan enerji miktarı %215, nakliye ise %453 oranında azaltılmıştır. Häfliger vd. (2017) çevresel etkileri azaltmak için binaların tüm hizmet ömrü boyunca veri tabanı seçimleri, sistem sınır tanımları ve yapı malzemelerinin değiştirilme senaryoları açısından farklı modelleme seçeneklerine göre binaların duyarlılığını değerlendirmişlerdir. Binaların çevresel etkisine büyük katkı sağlayan ve farklı modelleme seçimlerine duyarlı olan malzemeler referans çalışma dönemine (60 ve 120 yıl) göre belirlenmiştir. Uzun bir referans çalışma dönemi seçilirse binaların etki değerlendirmesinin odağı, kapı ve pencerelerin yanı sıra yalıtım malzemelerini de içermektedir. Azaltılmış bir referans çalışma dönemine seçilirse, binaların çevresel etkilerini azaltmak için beton ve duvar malzemeleri öncelikli olarak belirtilmektedir. Leoto ve Lizarralde (2019) LEED sertifikalı üç Kanada bina projesinde bütünleşik tasarımın çevresel etkileri azaltma açısından proje performansını ne ölçüde iyileştirdiğini araştırmaktadır. Malzemelerin verimsiz kullanımını ele almak ve binaların çevresel etkilerini en aza indirmek için binanın tasarımı, inşaatı, kullanımı ve bertarafının çeşitli yönleri için azaltma stratejileri önerilmiştir. Enerji verimliliği için enerji kazanım ünitelerinin, enerji kaynağının ve aydınlatma sisteminin yeniden dizaynı veya yapı malzemelerinin dizaynı gibi azaltma stratejileri ile küresel ısınma potansiyelinde (GWP) %60, enerji tüketiminde %62 azalma elde edildiği belirtilmektedir.

Soust-Verdaguer vd. (2023), YDA çalışmalarında veri kaynağı olarak EPD'lerin kullanımını incelemişler ve EPD belgelerinin veri kaynağı olarak kullanılabileceğini belirlemişlerdir. Yapı YDA'sı için mevcut Avrupa standartları EN 15978 (EN 15978, 2011) yapı ürünlerinin etkisini belirtmek için doğrulanmış bir sertifika olarak çevresel ürün beyanlarını önermektedir (Del Rosario vd., 2021). Ayrıca EPD'ler Uluslararası Referans Yaşam Döngüsü Verileri (ILCD- International Reference Life Cycle Data) sistemi tarafından tutarlı ve sağlam bir YDA geliştirme aracı olarak onaylanmıştır (ILCD).

Yapı malzemeleri için EPD konusunda literatür çalışmaları artmaktadır. Çevresel verilerin uyum konularını ve kalitesini Gelowitz ve McArthur (2017) ile Passeret vd. (2015) araştırmıştır. EPD'lerin kullanılabileceği bina bilgi modellemesine YDA'nın

entegrasyonunu Santos vd. (2019), Edwards vd. (2019) ve Röck vd. (2018) araştırmıştır. Ancak, binaların çevresel etkilerini EPD'lerden elde edilen YDA verileriyle değerlendiren çok az çalışma vardır (Petrovic vd., 2019a, 2019b; Fufa vd., 2018; Karami vd., 2015). Gelowitz vd. (2017) EPD'lerin tasarım ve inşaat süreçlerine verim sağlayacağını ve inşaatla kullanılan yapı malzemelerinin çevresel etkilerini anlamak için yardımcı olacağını belirtmektedir. Gelowitz ve McArthur (2016), EPD belgelerinin inşaat sektöründeki yerini araştırmıştır. EPD geliştirme sürecindeki şeffaflığın tasarımcılar için ve zaman çizelgesi üzerindeki etkilerin ise yükleniciler için endişe kaynağı olduğu belirtilmiştir. Islam ve Wang (2023), BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri 2030'u ve uygulama zorluklarını ele almıştır. Drewniok vd. (2023) binaları yeniden kullanmanın, yıkımdan kaçınmanın, malzeme ve karbon verimli yapı elemanları kullanımının, çok katlı yapıların daha düşük katlı yapılara göre daha çok inşa edilmesinin yapılarda karbonu azalttığını belirtmişlerdir. Almeida vd. (2023) EPD'lere dayalı olarak yapılan binaların BIM ve YDA arasındaki ana etkileşim sorunlarını belirlemek ve çalışmalarda ne tür bilgilerin yer alması gerektiğini ve nasıl olması gerektiğini belirlemek için izlenecek alternatifler önermektedir. EPD'lerin, IFC gibi açık veri biçimleriyle eşlenebilmesi, ilişkilendirilebilmesi ve çevresel verilerin parametrik nesnelerin bir özelliği olarak kullanılabilmesi için bilgi alışverişi gereksinimleri açısından yapılandırılması gerektiği belirtilmektedir. Yüksel (2021) çalışmasında metro istasyonlarını gömülü karbon açısından analiz etmiştir. Analizinde veri kaynağı olarak EPD belgelerini kullanmıştır.

Özeler vd. (2015) enerji verimli giydirme cephe sistemleri ve yapı kabuğu konularının yaşam döngüsü çalışmalarında baskın araştırmayı oluşturduğunu belirtmişlerdir. Akgül ve Dino (2020), iklim değişikliğinin konutlar üzerindeki etkisini araştırmışlar. Farklı karbon salınım seviyelerini temsil eden senaryolar kullanarak 10 katlı bir TOKİ binasının enerji simülasyonu yapılmıştır. Çalışma; iklim değişikliğinin yapıdaki enerji ihtiyacı, CO₂ salınımı ve kullanıcı ısı konfor seviyesini araştırmaktadır. Araştırma sonucu, sıcaklık artışının yapılarda soğutma için gereken enerji miktarının ve yapı kullanıcılarının ısı konforunun üzerinde etkili olabileceğini vurgulamaktadır. Ayrıca, daha düşük karbonu açığa çıkaran elektrik üretim sistemlerinin karbon ayak izini azaltmada önemli olduğu belirtilmiştir. Akköse vd. (2023), iklim değişikliğinin eğitim binaları üzerindeki enerji tüketimi ve ısı konforu etkisini incelemişlerdir. Ayrıca, yapıdaki pencere özelliklerinin yapının performansı üzerine etkisi iyileştirme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Yapıda tercih edilen pencere özelliklerinin, yapının enerji performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu

belirtilmiştir. Sunulan iyileştirme seçenekleri sonucunda tüketilen toplam enerji yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Akköse vd. (2021) iklim değişikliği ve kentsel ısı adası etkisinin yapılar üzerindeki etkisini enerji kullanımı, küresel ısınma potansiyeli ve termal konfor performans göstergelerini temel alarak araştırmış ve bu etkiyi %50 oranında azaltan güçlendirme senaryoları sunmuştur. Dino ve Akgül (2019) iklim değişikliğinin bu üç performans göstergesi üzerindeki etkilerini 4 farklı iklim özelliğinde inşa edilmiş örnek bir yapı üzerinde araştırmışlardır. Sonuçlar, soğutma enerjisi kullanımının kullanıcı konforu üzerinde etkili olduğunu ve elektrik üretiminde salınan karbonun azaltılmasının iklim değişikliği üzerinde etkili olduğunu vurgulamaktadır. Süt vd. (2019) analitik hiyerarşi ve TOPSİS yöntemini kullanarak kampüs içi yeşil ulaşım alternatiflerini farklı teknolojilere sahip seçenekler belirleyerek değerlendirmişlerdir. Yakıt türü, motor gücü, kapasite, enerji verimliliği, engelsiz ulaşım gibi kriterleri göz önüne alınmış ve elektrikli araç tavsiye edilmiştir. Stephan vd. (2013) pasif evlerin her zaman net enerji tasarrufu sağlamadığını ve yeni standart bir binayla benzer bir toplam enerji tüketimine sahip olabileceğini belirtmiştir. Pasif evlerin gömülü enerjisi, 100 yıllık işletim süresindeki toplam enerjinin %77'sini oluşturur. Stephan vd. tarafından yapılan hesaplamalara göre yenilenmiş bir daire, en iyi pasif ev senaryosundan %15,2 daha düşük enerji tüketimine sahiptir. Enerji tasarrufu için yapılan üç camlı pencereler ve kalınlığı artırılmış yalıtım, gömülü karbon değerini artırmaktadır. Bundan dolayı tek başına operasyonel karbonu azaltmanın net emisyonu azaltmayacağı belirtilmiştir.

Yıldırım (2020) ülkemiz için en uygun yenilenebilir enerji yatırımlarının sırası ile güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve biyokütle enerjileri olduğunu belirtmiştir. Külünk (2013) Türkiye'nin ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi çevresel açıdan ele almış ve enerji kullanımındaki artışın karbon salınımını artırdığını belirtmiştir. Demirezen (2022) fotovoltaik güneş paneli dizilerinin, fotovoltaik ısı adası etkisini araştırmıştır. Sekbandemirli GES (güneş enerji santrali) sahasında analizler yapılmış ve güneş paneli dizilerinin zamansal değişen geçici ısı adası etkisi yarattığını belirtmiştir. Leblebici (2020) ısıyı soğuran bina kabuğunun, binanın ısısal durumu üzerindeki etkisini incelemiştir. Her bir derece dış ortam hava sıcaklığının artmasının, toplam elektrik talebini artırdığını belirlemiştir. Bina kabuğunun yansıtıcılığının artırılması, soğutma yükleri açısından avantajken, bina kabuğu tarafından soğurulmayıp, şehir yüzeyine yansıtılan ışınlar, yayaların ısısal konforunu düşürmektedir.

Yapılarda ısı kaybı ve enerji ihtiyacını analiz eden birçok çalışma vardır. Öztok ve Menlik (2022), ülkemizdeki 4 ısıtma bölgesi için farklı yakıt kullanımlarına göre yakıt maliyetini, sera gazı salınımını ve kurulum maliyetini hesaplamıştır. Isı hesapları için TSE 825'den yararlanılmıştır. Fosil enerji kaynaklarından doğalgazın bina kullanımının çevreye en az zarar verdiği belirtilmiştir. Bostancıoğlu (2010), çalışmasında bina kabuğu değişiminin ısıtma enerjisi ve maliyet üzerindeki değişimi incelemiştir. Yüksek katlı yapılarda duvar elemanların çatıdan daha fazla yer kaplamasından dolayı, yapıda ısı kaybını daha çok etkilediği belirtilmiştir. Bolattürk (2008), binaların dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığını, ısıtma ve soğutma yüklerine bağlı olarak belirlemiştir. Sonuçlar, Türkiye'nin en sıcak bölgesinde soğutma derece-saatine göre bina duvarlarında yalıtım kullanımının ısıtma derece-saatine göre enerji tasarrufu açısından daha önemli olduğunu belirtmektedir. Bolattürk (2006), farklı iklim bölgeleri için optimum kalınlık, enerji tasarrufu ve yalıtım malzemelerinin geri ödeme sürelerine karar vermek için bir çalışma yürütmüştür. Sonuçlar, yakıt türüne (kömür, doğal gaz, fueloil, sıvılaştırılmış petrol gazı ve elektrik) bağlı optimum yalıtım kalınlığının 2-17 cm, enerji tasarrufunun %22-79 arasında ve geri ödeme süresinin 1,3-4,5 arasında değiştiğini göstermiştir. Aytaç ve Aksoy (2006), farklı enerji kaynakları (kömür, doğalgaz, LPG, fueloil, elektrik) ve ekspande polistren köpük (EPS) ve taşıyıcı yalıtım malzemelerinin duvar kalınlıklarına olan etkisini araştırmışlardır. Kömür ve EPS birleşiminin en iyi performans sonucunu verdiği ve yalıtımın ortalama 4,4 yılda amorti edildiği belirtilmiştir. Joo ve Song (2023) prekast beton giydirme duvarlarının ısı yalıtım performansının iyileştirilmesini araştırmışlardır. Cao vd. (2017) faz değişim malzemelerini, çimento ve jeopolimer beton ile karıştırarak yüksek enerji depolama özelliğine sahip olan bir beton elde etmişlerdir. Katkı maddesi nedeniyle beton basınç mukavemeti azalırken istenilen termal stabiliteye ulaşılmıştır. Sapan (2017), çalışmasında Erzurum ili ısı yalıtım kalınlıklarını araştırmıştır. 3 farklı (XPS, EPS ve cam yünü) yalıtım malzemesi için sırasıyla 13,8 cm, 14,6 cm ve 15,8 cm asgari yalıtım kalınlıklarını elde etmiştir. Bu değerler bölgede genellikle tercih edilen 5 cm yalıtım kalınlığı ile kıyasladığı zaman, yıllık ısıtma enerjisi ve CO₂ salınımı açısından %35-38 daha düşük olduğu bulunmuştur. Bunun yanı sıra 5 cm yerine önerilen kalınlıklar uygulandığında yapıda ortalama %7,2 daha fazla tasarruf elde edildiğini belirtilmektedir. Moran (2018), ısı konforu, enerji tasarrufu ve emisyon miktarlarının azaltılabilmesi için ülkemizde standart olarak kullanılan TS 825 ısı yalıtım yönetmeliği dahil olmak üzere ömür maliyet analizi hesap yöntemi, yatırım tasarrufu hesap yöntemi ve yıllık enerji maliyeti hesap yöntemini kapsayan dört farklı hesaplama yöntemi ile dört farklı derece gün bölgesi (Mersin, Bursa, Ankara ve Sivas) ve dört farklı ısı yalıtım

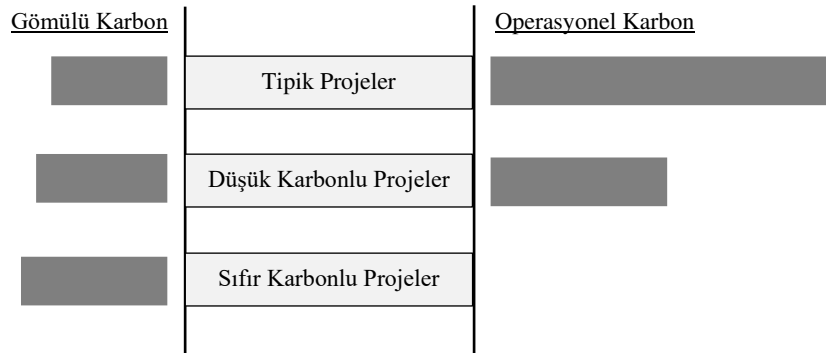
malzemesine (taş yünü, camyünü, EPS ve XPS) göre optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi üzerine araştırma yapmıştır. Yakıt olarak; doğalgaz, kömür, fuel-oil ve elektrik, duvar yapı elemanı olarak; briket, tuğla, bims ve gaz beton kullanılması durumunda her bir bölge için optimum ısı yalıtım kalınlığı belirlenmiş ve bu hesaplamalara karşılık gelen emisyon miktarları açığa çıkarılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan her dört yöntem için de dördüncü derece gün bölgesinde yer alan Sivas ili için ısıtma ihtiyacını karşılamak için kullanılan yakıt cinsi ve yalıtım malzemelerinin özelliklerine bağlı olarak duvar yapısında en yüksek optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmiştir. Fakat ısı yalıtımı uygulaması amortisman süresinin 0,80-3 yıl arasında değiştiği belirtilmektedir. Isı kaybı en fazla olan yapı elemanı brikettir. Brikette ısı kaybı fazla olduğu için yakıt sarfiyatı, ısıtma maliyeti ve doğrudan emisyon değerleri diğerlerine göre daha fazladır. Isı kayıplarını büyükten küçüğe sırasıyla; briket duvar, tuğla duvar, bims duvar ve gaz beton duvar olarak sıralanmaktadır. Çalışma yakıt olarak doğalgaz tercih edilmesini önermektedir.

2.6 Literatüre Eleştirel Bakış

Bu bölümde literatür gözden geçirilmiş, çıkarımlar özetlenmiş ve eleştirilmiştir. İnşaat sektörü için YDA; inşa, kullanım, yaşam sonu ana başlıklarına ayrılmaktadır. İnşaat ile ilgili çevresel etki analizi çalışmaları yaşam döngüsünün çoğunlukla işletme aşamasına odaklanmıştır (Adalberth, 1997a; Nematchoua vd., 2022; Norouzi vd., 2023). Bu çalışmaların anahtar kelimeleri karbon ve enerji başlıklarıdır. Günümüzde yapıların işletme dönemindeki enerjisini ve karbonunu hesaplayan birçok araç vardır. Bu durum, diğer çevresel performans göstergeleri için geçerli değildir. Literatürde bir binanın yapım aşamasının bütün yapı malzemeleri ile çevresel etki değerlerinin hesaplanması konusunda az sayıda çalışma bulunmaktadır. Var olan çalışmalar genellikle belirli elemanların analizlerini yapmıştır. Örneğin; yapının sadece dış kabuğunun veya yapının taşıyıcı sisteminin ayrı ayrı gömülü enerji ve gömülü karbon analizi çalışılmıştır (Guan vd., 2015; Adalberth, 1997b; Fay vd., 2000). Yapıda kullanılan yapı malzemelerinin tamamının değerlendirildiği çalışmalara ihtiyaç vardır. Buna örnek mantolama uygulaması verilebilir. Sadece mantolamada kullanılan malzemenin (XPS, EPS vb.) değil, bu malzemenin montajı için gereken malzemelerin de analize dahil edilmesi gerekir. Bu işlem tüm iş kalemleri için uygulanırsa gerçeğe daha yakın sonuçlar hesaplanabilir. Bu sorunun temel kaynağı yapım projelerinin hem süreç hem malzeme açısından çok aktörlü bir sektör olmasından kaynaklanmasıdır.

Analizlerde üretim yaşam dönemi için kullanılan kaynak genellikle ICE (The Inventory of Carbon and Energy) veri tabanıdır (Hammond ve Jones, 2008; Hammond vd., 2011). Literatürde Gabi, Ecoinvent, Synergia gibi veri tabanları ile yapılan hesaplamalar mevcuttur. Bu veri tabanlarını karşılaştıran çalışmalar da yapılmıştır. Veri tabanlarının envanter etki değerlendirme metodları, karakterizasyon faktörleri, veri kaynakları ve işlem süreçleri birbirinden farklı olduğundan dolayı aynı malzeme için farklı sonuçlar önemli sapmalar ile ortaya çıkabilmektedir. Yaşam döngüsü analizi programlarında kullanılan verilerin derlenme çeşitliliğine endüstriden, literatürden, farklı veri tabanlarından, istatistiksel analizlerden verilerin derlenmesi örnek olarak verilebilir.

Günümüz inşaat sektörünün ana hedeflerinden olan sıfır enerjili ve karbonlu yapılar için geliştirilecek araçlar önemlidir. Sıfır enerji ve karbonlu yapı projeleri, işletme aşamasındaki karbon ve enerjinin sıfırlanmasını amaçlamaktadır (Şekil 2.2). Teorik olarak bunun gerçekleştiği varsayılsa da üretim ve bertaraf aşamalarındaki karbon ve enerji değerleri göz ardı edilemez. Kaldı ki üretim aşamasında dikkat edilmesi gereken başka indislerde vardır. Üretim aşamasındaki gömülü enerji ve karbon birçok parametreden etkilenir. Hammaddeden ürün elde edilmesine kadar geçen süre düşünüldüğünde, süreçte kullanılan enerji miktarı, enerji türü ve geri dönüştürülmüş malzeme kullanımının gömülü enerji ve karbon üzerinde önemli olduğunu belirtmek gerekir. Örneğin bir tuğlanın üretiminde kullanılan enerji kaynağı (rüzgâr, kömür, hidroelektrik vb.) ülkeden ülkeye değişebilir. Bu da gömülü enerji ve karbon değerini etkiler.



Şekil 2.2 : Karbon hedeflerine göre projelerin gömülü ve operasyonel karbon oranı modeli.

Yapı ya da yapı malzemesinin kullanım ve işletme aşamasının birbirlerini etkilemesi irdelenmesi gereken başka bir konudur. Bir bina ele alındığında, işletme enerjisi ve karbon değerinin düşük olması için yalıtım, pencere, çatı gibi malzeme girdilerinin yüksek verimlilikte olması gerekir. Pencerelemin tek yerine çift camlı tercih edilmesi ya da yalıtım levhalarının kalınlıklarının artırılması yüksek enerji verimliliğine örnek verilebilir. Bu

durumda aynı yapı için daha fazla yapı malzemesine ihtiyaç duyulacağı için üretim aşamasındaki gömülü enerji ve karbon değerleri artacaktır. Bu bağlamda; üretim aşamasındaki enerji ve karbon değeri ile işletim aşaması değerleri ters orantıya sahip olduğu söylenebilir. Fakat dikkat edilmesi gereken başka bir parametre de binanın üretim ve işletim süreleridir.

İnşaat sektörünün çevresel etkilerini hesaplama sorunu; sektörde kullanılan yapı malzemelerinin çevresel etki verilerinin kısıtlı olması, yapı malzemelerinin farklı kalitede olması ve yapım alternatiflerinin çok çeşitli olması nedeniyle oldukça zordur. Belirtilen nedenler sadece çevresel etkilerin hesaplanmasını değil aynı zamanda yapım işlerine teknoloji entegrasyonunu da zorlaştırmaktadır (Ceylan, 2019; Göktürk, 2007). Avrupa birliği ülkelerindeki binalarda enerji tüketimi azalırken ülkemizde tüketim artmaktadır (International Energy Agency). Dünya genelinde bina yapım ve işletim süreçlerinin enerji, su ve tarımsal alanlar üzerindeki etkisi %40'ın üzerindedir (Edwards, 2007). Ülkemiz sera gazını en çok atmosfere salan 20. ülkedir ve ulusal katkı beyanında 2030 yılına kadar emisyonlarını en fazla %21 oranında azaltacağı taahhüdünde bulunmaktadır. Climate Action Tracker (CAT) Türkiye'nin Paris taahhüdünü "kritik derecede yetersiz" olarak değerlendirmiştir. CAT'ın derecelendirmesine göre tüm ülke hedeflerinin Türkiye'nin hedeflerine benzer olduğu senaryoda, ısınmanın 4°C artacağı hesaplamıştır (Carbon Brief). Bu nedenle, ülkemizdeki politika yapıcılara yapım projelerinden kaynaklanan emisyonlar hakkında rehberlik edecek daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. İlgili literatür taramasının özet tablosu Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6 : İlgili literatür taramasının özeti.

Yazarlar	Çalışma ismi	Sonuçlar
Rodrigues vd. (2018)	Endüstriyel bir bina inşa etmenin YDA'sı: Gömülü karbon ve enerjiye odaklanma	508,57 kgCO ₂ - eşd./m ² gömülü karbon ve 4908,68 MJ/m ² gömülü enerji
De Wolf (2014)	Bina yapılarındaki malzeme miktarları ve çevresel etkileri	200 mevcut binanın ortalaması GWP 200 ila 700 kgCO ₂ eşd./m ²
Chastas vd. (2018)	İnşaat sektöründe karbon emisyonlarının normalleştirilmesi ve değerlendirilmesi: Konut binalarının gömülü CO ₂ emisyonlarına ilişkin bir inceleme	95 vaka çalışması 179,3-1050 kgCO ₂ eşd./m ² (50 yıllık bina ömrü) arası değişen gömülü karbon
Emami vd. (2016)	Malzemelerin uzun mesafeli taşınmasının etkisi de dahil olmak üzere YDA kullanılarak İzlanda'daki bir Okul binasının çevresel etki değerlendirmesi.	Binada kullanılan malzemelerden brüt taban alanının metrekaresi başına GWP: 255 kgCO ₂ eşd./m ² , ODP: 1,36x10 ⁻⁶ kg CFC11 eşd./m ² , AP: 0,88 Mol H ⁺ eşd./m ² , EP: 2,28 Mol N eşd./m ²
Kayaçetin ve Tanyer (2020)	Kentsel ölçekte konutların gömülü karbon değerlendirmesi	Yapının çevre düzenlemesi dahil ortalama 409,2 kgCO ₂ eşd./m ² gömülü karbon emisyonu
Adalberth vd. (2001)	Dört çok aileli binanın yaşam döngüsü değerlendirmesi	4 yapı için 50 yıllık yaşam döngü süresini temel alınmıştır. GWP: 1,5 tonCO ₂ eşd./m ² /50 yıl AP: 8–10 kgSO ₂ eşd./m ² /50 yıl EP: 4–5 kg NO ₃ eşd./m ² /50 yıl
Erzurum ve Bettemir (2021)	Kırsal Evlerin İnşasında Sürdürülebilirlik Analizi	Temel ve zemin mahalleri dahil 748, 67 kgCO ₂ eşd./m ² gömülü karbon
Adalberth (1997b)	Binaların yaşam döngüsü boyunca enerji kullanımı: bir yöntem	50 yıllık kullanım sonucu toplam enerji tüketimi 7600–8800 kWh/m ²
Fay vd. (2000)	Binaların yaşam döngüsü enerji analizi: bir vaka çalışması	50 yıllık kullanım sonucu toplam enerji tüketimi 76 GJ/m ²

Sonuç olarak yapıların yaşam döngüsünü analiz edebilmek için farklı yaklaşım ve metodların yeterli veriler ile desteklenmesiyle örnek vaka çalışmaları yapmak gerekmektedir. Bu araştırmanın geliştirilmesiyle yapıların çevresel etkilerini hesaplamak için bir yöntem sağlanabilecektir. Fakat bu alanda yapılan çalışma sonuçları arasındaki sapmanın azaltılması ve belirli bir standarda erişebilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

3. YÖNTEM

3.1 Çalışma Aşamaları

Yapım projelerinin çevresel etkilerinin analiz adımları; veri derleme, çevresel performans göstergeleri ve maliyet analizi, enerji ihtiyacı hesabı adımlarından oluşmaktadır. Çalışmada uygulanacak yöntemlerin detayları bu bölümde sunulmaktadır. Yapılan analizlerin temel işlem adımları Şekil 3.1’de sunulmuştur. Bu bölümde açıklanan analizler hem derslik hem de konut binaları için yapılmıştır. Şekil 3.1’de verilen çalışmanın genel akış şeması sırasıyla aşağıdaki bölümler altında yürütülmektedir:

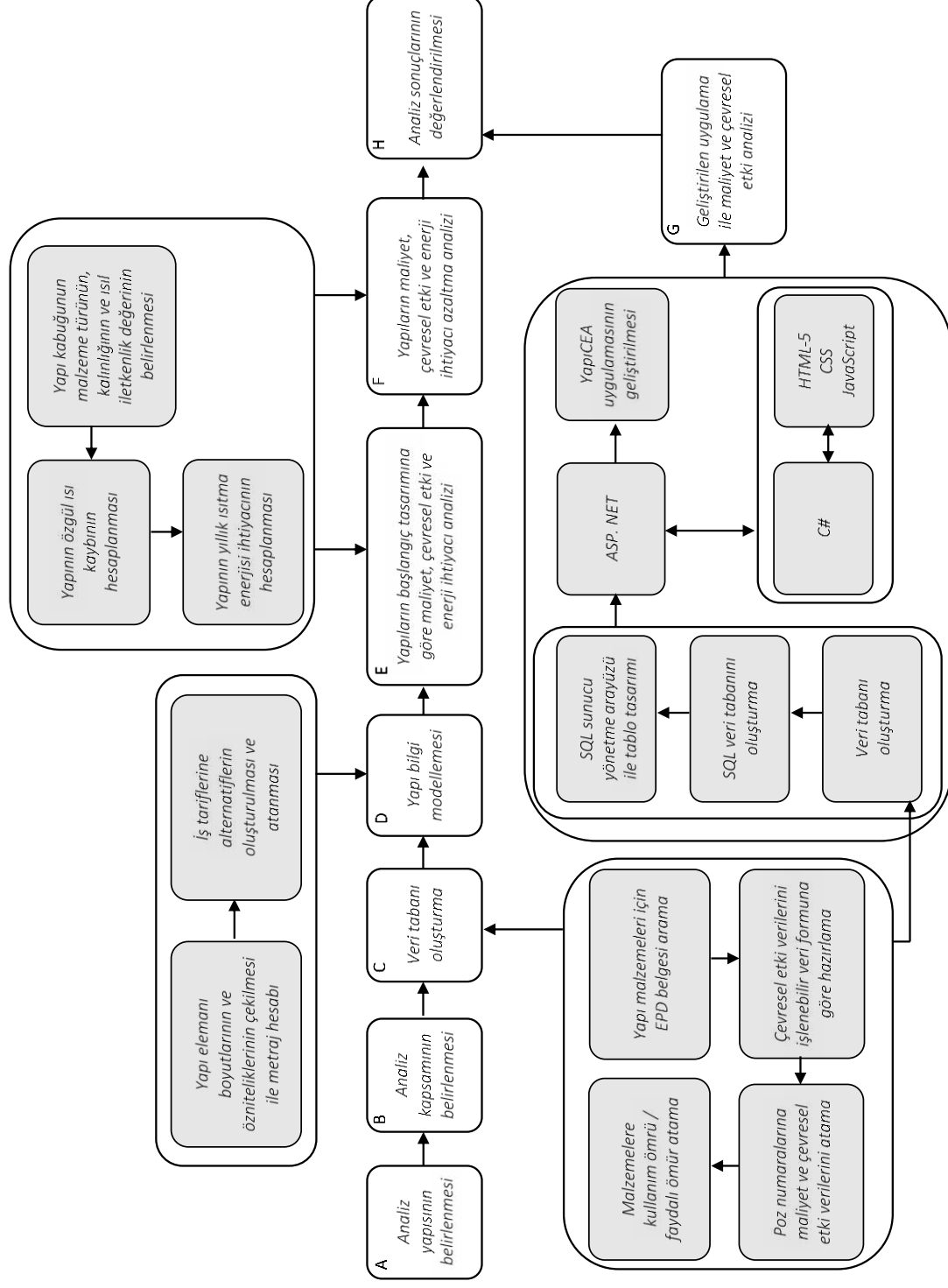
- A. Analiz yapısının belirlenmesi: Kullanım amacı farklı olan okul ve konut binaları seçilmiştir.
- B. Analiz kapsamının belirlenmesi: Yapıda kullanım ömrü boyunca onarım, yenileme gibi nedenlerle oluşan malzeme kullanımlarının ve malzeme seçiminin hem gömülü çevresel etkiler üzerindeki etkisini hem de enerji kullanımına etkisini gözlemlemek için analizler iki dönem için yapılacaktır. Birincisi üretim ve kurulum dönemi (A1-2-3-5), yapıyı inşa etmek için gereken yapı malzemelerini ifade eder. İkincisi üretim, kurulum ve kullanım dönemidir (A1-2-3-5+ B3-4-5-6). Kullanım dönemi (B3-4-5 ve B6); yapıda kullanılan malzemelerin yenilenme, değiştirme ve onarım benzeri sebeplerle değişimini (B3-4-5) ve yapıda kullanım döneminde tüketilen enerjiyi (B6) temsil etmektedir. A4 yaşam dönemi taşıma mesafesi değişkenliğinden dolayı analize dahil edilmemiştir.
- C. Veri tabanı oluşturma: Bu bölüm; kapsamda belirtilen malzemeler için EPD belgesi derleme, bu belgelerdeki verilerin iş kalemlerine yani malzemelerin poz numaralarına atama ve bu iş kalemlerine faydalı ömür atama adımlarından oluşmaktadır. Çalışmada inşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinin çevresel performans göstergelerinin ve maliyetinin değerini sunan bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanındaki malzemeler ‘Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının (CSB) 2022/3 (01.07.2022 tarihli) birim fiyat analizi’ listesi ile sınırlanmıştır. Hesaplamalarda EPD belgelerinden elde edilen çevresel performans göstergeleri (A1-2-3 verileri) kullanılmıştır. Veri tabanında, poz numaralarına iş kalemlerinin çevresel performans göstergeleri olan GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF değerleri ile maliyet değeri atanmıştır. Bu sayede iş tariflerinin çevresel ve maliyet etkisi sistematik bir şekilde analiz edilebilecektir. EPD belgelerinden derlenen veriler ICE veri tabanı ile kıyaslanarak sapmalar hesaplanmış ve iki veri tabanı karşılaştırılmıştır. Ayrıca aynı yapı malzemesi

için farklı EPD belgeleri derlenerek farklı EPD belgelerine sahip malzemelerin veri ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır. Hesaplamalarda elektronik tablo temelli uygulama kullanılmıştır.

- D. Yapı bilgi modellemesi:** Yapıların en az kullanıcı müdahalesi ile metraj hesabının yapılması ve iş tariflerinin oluşturulması işlemidir. Metraj hesaplamaları yapının geometrisi ile yapısal ve mimari elemanlar ilişkilendirilerek gerçekleştirilmektedir (Bettemir vd., 2019; Bettemir ve Yücel, 2021). Bir sonraki adım metraj özeti oluşturulan iş kalemlerinin rayiç ve analiz listesinin her bir iş kalemi, poz numarası ile anahtar özniteliği oluşturularak hazırlanmasıdır. Bu sayede yapım projelerinin metraj verilerini yapım tarifleri ile eşleştirerek çevresel performans göstergelerini ve inşaat maliyetini hesaplayan bir sistem geliştirilmiştir
- E. Yapıların başlangıç tasarımına göre yaşam döngüsü ve ısıtma enerjisi ihtiyacı analizi:** Yapıların çevresel etki göstergelerinin, maliyetinin ve ısıtma enerji miktarlarının hesaplanmasıdır.
- F. Yapıların çevresel etki, maliyet ve enerji ihtiyacı azaltma analizi:** Kavramsal bağlamı sağlamak amacıyla bu analiz aşaması Bölüm 3.4’te detaylı anlatılmıştır. Fakat belirtmek gerekir ki bu hesaplama sonucunda yapının çevresel etkisini en az düzeyde revize ile azaltan tasarım ortaya çıkmaktadır. Yapılan analizler:
- Yapı malzemesi tabanlı çevresel etki ve maliyet azaltma analizi: Çevresel performans göstergeleri ve maliyeti azaltmak için yapıda kullanılan yapı malzemelerine alternatif malzemeler atayarak bunun malzemedan ve enerjiden (doğalgazdan) kaynaklanan çevresel performans göstergeleri ve maliyet üzerindeki etkisinin araştırılması,
 - Yapının A1-2-3-5 yaşam döneminde çevresel performans göstergeleri ve maliyeti en çok etkileyen değiştirilebilir ilk 5 iş kalemine alternatif atanması ve YDA,
 - Yapının A-1-2-3-5 + B3-4-5 yaşam döneminde çevresel performans göstergeleri ve maliyeti en çok etkileyen değiştirilebilir ilk 5 iş kalemine alternatif atanması ve YDA,
 - Yapı kabuk türü tabanlı çevresel etki ve maliyet azaltma analizi: Yapının enerji tüketiminde etkili olan kabuğunu oluşturan yapı malzemelerinin değişiminin yapı

malzemesinden ve doğalgazdan kaynaklanan maliyet-karbon-enerji üzerindeki etkisinin 4 derece-gün bölgesi için araştırılması.

- G.** Geliştirilen uygulama ile maliyet ve çevresel etki analizi: Yapı malzemelerinin çevresel etkilerini ve maliyetini hazırlanan veri ile hesaplayan uygulamanın geliştirilmesi ve yapının malzemelerin faydalı ömrünün dahil edilmediği yaşam döngüsü analizinin yapılması işlemidir.
- H.** Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi: Analiz sonuçlarının iyileşme yüzdeleri, en yüksek iyileşmeyi hangi hesap kriterinin ve yaşam döneminin sunduğu, malzemelerin tekrarlı kullanımlarının yapının gömülü çevresel kriterleri üzerindeki etkisi, en fazla iyileşmeyi sunan tasarımın yapının ısıtma enerjisindeki değişimi ve yapının kabuğuna yapılacak yatırımın çevresel ve mali etkisi çok kriterli ve bütüncül bir şekilde değerlendirilir. Bu değerlendirme ile ön tasarım aşamasında yapıların çevresel etkisini azaltacak strateji farklı kriterlere, yaşam dönemine ve verilere göre araştırılır.



Şekil 3.1 : Çalışmanın genel akış şeması.

Çalışmada yapının maliyet ve çevresel etkileri iki şekilde hesaplanmıştır. Birincisi, yukarıda G aşamasına kadar anlatılan elektronik tablo temelli bir uygulama kullanılarak manuel analizdir. İkincisi ise G aşamasında anlatılan hesaplanan verilerin veri tabanına yani SQL' e aktarılarak ASP, HTML-5, JavaScript ve C# dilleri kullanılarak oluşturulan bir çevresel etki hesaplama aracıdır. Örnek olarak derslik yapısı iki şekilde de hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Geliştirilen yazılım hem çevresel etki verilerinin sonuçlarını hem de karbon ticaret borsasına göre yapının maliyetini sunmaktadır. Bu çalışma adımı sayesinde yapıların çevresel performans göstergelerini bu çalışmada hazırlanan veriler yardımıyla ölçmeye yarayan bir araç geliştirilmiştir.

3.2 Veri Tabanı Oluşturma

Verileri çeşitli araçlar ile kullanılabilir çıktılara dönüştürme veri işleme olarak tanımlanır. Çalışmanın bu bölümünde yaşam döngüsü analizinde kullanılan çevresel etki göstergeleri verilerinin elde edilmesi ve poz numaralarına atanması için yapılan işlemler ele alınacaktır.

3.2.1 Veri derleme

Yapıların ya da ürünlerin çevresel etkisini değerlendirmek için performans göstergeleri belirlenmiştir. Değerlendirme için öncelikle çevresel etki analizlerinde kullanılan performans göstergelerinin işlenebilir formda verilerine ihtiyaç vardır. ICE (Inventory of Carbon and Energy), literatürün ve EPD belgelerinin taranması ile elde edilen yapı malzemelerinin gömülü karbon ve enerji değerlerinin ortalamalarını vermeyi amaçlayan bir veri tabanıdır (Hammond vd., 2008;2011). Fakat çevresel etkiler sadece enerji ve karbonla sınırlı değildir. Stratosferik ozon incelme, asidifikasyon, ötrofikasyon gibi çevresel etki kriterleri de vardır. ICE veri tabanı her ne kadar ortalama değerleri temsil etmeyi amaçlasa da inşaatta kullanılan malzemelerin son halini çoğunlukla temsil etmemektedir. Örneğin, 'asma tavan taşıyıcı yalıtımlı alüminyum levhasının' çevresel etkisini hesaplamak için ICE veri tabanında alüminyum levha ve yalıtım malzemelerini ayrı ayrı bulup toplamak gerekmektedir. Ayrıca kullanılan malzemenin biriminin kg cinsinden olması gereklidir. Bu iki ürünün değerleri toplansa bile çevresel etki ölçümü üretim aşamasını tam anlamıyla temsil etmemektedir. Alüminyum levhanın delikli, şeritli ya da girintili olması üretim bandında daha fazla işçilik ve enerji kullanımını gerektirmektedir. Benzer şekilde taş yününün levha ile birlikte üretilmesi durumu verilere dahil

edilememektedir. Bu araştırma sonucunda EPD belgelerindeki verilerin işlenebilir forma getirilerek kullanılması tercih edilmiştir.

EPD, temelde 3 kategoriden oluşur. Bunlardan ilki temel çevresel etki kategorilerinin analizidir. İkinci kategori, hem ürün içinde kullanılan birincil enerji miktarını hem de ürünü üretmek için ne kadar enerji kullanıldığını bildiren “kaynak kullanım” kategorisidir. Bu, enerjinin yenilenebilir kaynaklardan mı yoksa yenilenemez kaynaklardan mı geldiğini bildirmektedir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılıp kullanılmadığı ve nasıl kullanıldığı ve kullanım ömrü sonunda üretilen geri kazanılan malzeme, yakıt veya enerji miktarı hakkında bilgi sağlar. Son kategori ise çıktı akışlarını ve atık durumunu bildirir. Geri dönüştürülecek malzemeler ve salınan enerji, üretilen ve sisteme sağlanan elektrik ve termal enerji gibi hususlar da dikkate alınır. Ayrıca tehlikeli ve tehlikesiz atıklar da burada beyan edilmektedir. Analizlerde yararlanılan EPD belgelerinin A1-2-3 dönemi verileri kullanılmıştır.

EPD, ürünlerin çevresel etkileri hakkında şeffaf ve karşılaştırılabilir bilgileri ileten, bağımsız olarak doğrulanmış ve tescilli bir belgedir. ‘Yaşam Döngüsü Analizi’ kapsamında ekonomik faaliyetlerin ekolojik ayak izini ve çeşitli emisyon ölçümlerinin sonuçlarını dikkate alır. Özet olarak ürünlerin çevre performansını nicel olarak değerlendiren ve beyan eden deklarasyonlardır. Bu yüzden herhangi bir yapı malzemesi için birden çok EPD belgesi olabilir. Çalışmada verileri kullanılacak olan belgeler seçilirken ICE veri tabanındaki gömülü karbon ve enerji değerlerine yakın olmasına dikkat edilmiştir. Bu yakınlığı yakalayabilmek için kullanılan EPD belgelerinde yakıt ve hammadde türüne dikkat edilmiştir. Kullanılan veriler bir markayı temsil ettiği için her bir verinin temsil ettiği marka ve EPD adresi çalışmada belirtilmektedir. EPD belgelerine ‘Global Construction Products’ ve ‘The International EPD System’ veri tabanlarından erişilmiştir.

İnşaatta kullanılabilecek olan yapı malzemelerinin sayısı çok fazladır. Çalışmanın yapı malzemesi çeşitliliğini sınırlamak için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022/3 (01.07.2022 tarihli) birim fiyat analizi referans alınmıştır (CSB). Bakanlığın inşaat malzeme rayiçlerinin her birinin çevresel etki analizi yapı malzemesi sınırı olarak belirlenmiştir. Bu durum analizde üç farklı kolaylık sunmaktadır. Birincisi yapı malzemelerinin sınırları ve tanımının belirgin olmasıdır. İkincisi her malzemenin ‘poz numarası’ ile temsil edilen eşsiz bir numarasının olmasıdır. Bu numaralara çevresel gösterge verileri atanarak analiz işlemleri daha kolay yapılır. Üçüncüsü iş kalemlerinin tariflerinin var olmasıdır. Bir birim işin yapılabilmesi için gereken malzeme, işçilik ve makine miktarının

belirlenmesi ‘birim analiz’ olarak tanımlanır ve birim analiz pozu ile gösterilir. Rayiç pozu ise yalın bir şekilde malzemeyi, işçiliği veya ekipmanı ifade etmektedir. Öncelikle malzemeler incelenerek hangi malzemeler için çevresel etki verilerinin gerektiği belirlenmiştir. Rayiç pozlara çevresel (GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF) ve maliyet verileri atanmıştır. Bunun yanı sıra analizlerde kullanılmayan EPD belgesindeki ‘kaynak kullanım’ bölümüne ait verilerde daha sonraki çalışmalarda kullanmak için derleme işlemine dahil edilmiştir. Ayrıca rayiç verileri birleştirilerek ‘birim fiyat analizi’ değerlerinin de çevresel etkileri hesaplanmıştır. Kaynaklar ve sınırlar belirlendikten sonra rayiç ve analiz listesi oluşturulur. Ardından EPD belgesindeki veriler işlenebilir forma dönüştürülmüştür. Çevresel etki verileri ve maliyet değerleri atanan malzemelere son olarak ‘malzemenin faydalı ömrü’ ile ifade edilen, derlenen EPD belgelerinden elde edilen kullanım ömrü de atanır. EPD belgelerinin çok küçük bir kısmında kullanım ömrü verisi paylaşılmamıştır. Bu durumda sektör, üretici, kullanıcı ortalamaları dikkate alınarak tahmini en yüksek değerler atanmıştır. Çalışma kapsamında ilk derlenen EPD belgelerinde karşılaştırma yapabilmek için ICE veri tabanındaki oranlar (ikincil kaynak kullanımı, yakıt türü vb.) dikkate alınmıştır. Yapı malzemelerine öncelikle yerel üreticilerden elde edilen EPD belgelerinden derlenen veriler atanmıştır. Yapı üretiminde kullanılan bütün yapı malzemelerinin etkisinin araştırılması da amaçlandığı için coğrafi kapsamı yereli temsil etmeyen EPD belgeleri de kalan malzemeler için kullanılmıştır. Bu EPD belgesi toplamının ilk adımıdır. Bu veriler tezdeki ana hedeflere ulaşmak için analizlerde kullanılacaktır. Yapı malzemelerinin çevresel etkisini hesaplamak çok etkenli çoklu bir paradigmadır. Sürecin her bir girdisi kendi içerisinde çok fazla belirsizlik içermektedir. Bu belirsizliğin analiz sonuçlarına etkisinin gözlemlenmesi için ikinci adımda ek EPD belgesi derleme işlemi yapılır. İkinci adım her yapı malzemesi için kullanılan YDA yazılımı, coğrafi kapsam veya kaynak durumu gözetilmeksizin birden fazla EPD belgesi derlenmesidir. Bu derleme işlemi de belirtilen sınırlar çerçevesinde bu bölümde anlatıldığı gibi yapılmaktadır. Bu adım sayesinde farklı EPD belgeleri arasındaki değişkenlik ölçülebilecektir.

Çizelge 3.1 : EPD belgesi çevresel etki veri örneği (Url-1).

	Birim	A1-A3
Çevresel Etkiler	GWP-total	kg CO ₂ eşd. 5,47E-01
	GWP-fossil	kg CO ₂ eşd. 5,46E-01
	GWP-biogenic	kg CO ₂ eşd. 6,39E-04
	GWP-luluc	kg CO ₂ eşd. 2,65E-04
	GWP-GHG ¹	kg CO ₂ eşd. 5,34E-01
	ODP	kg CFC-11 eşd. 3,99E-08
	AP	mol H ⁺ eşd. 2,11E-03
	EP-freshwater	kg PO ₄ ⁻³ eşd. 3,37E-04
	POCP	kg NMVOC eşd. 1,50E-03
	ADPe	kg Sb eşd. 9,17E-06
	ADPf	MJ 5,81E+00
	WDP ³	m ³ eşd. 1,53E-01
Kaynak Kullanımı	PERE	MJ 4,33E-01
	PERM	MJ 7,43E-03
	PERT	MJ 4,40E-01
	PENRE	MJ 5,81E+00
	PENRM	MJ 7,43E-03
	PENRT	MJ 5,81E+00
	SM	MJ 0,00E+00
	RSF	MJ 0,00E+00
	NSRF	MJ 0,00E+00
	FW	m ³ 3,56E-03
Çıktı Akışları ve Atık Kategorileri	HWD	kg 7,30E-06
	NHWD	kg 4,03E-02
	RWD	kg 1,53E-05
	CRU	kg 0,00E+00
	MFR	kg 0,00E+00
	MER	kg 0,00E+00
	EE	MJ 0,00E+00

Çizelge 3.1’de çimento esaslı bir karo yapıştırıcı malzemesinin (C2 TE S2 tip) çevresel etki analizi sonuçlarını veren EPD belgesi örnek olarak verilmiştir. Genel hatlarıyla veriler; temel etki kategorileri, kaynak kullanımı ve atık durumunu belirten verilerdir. Çalışmada ‘beşikten kapıya’ etki analizi sınır olarak kabul edildiği için bunu temsil eden A1-A3 sütunundaki veriler kullanılacaktır. EPD belgesindeki veriler işlenebilir formda sunulmadığı için değerler elektronik çizelge temelli uygulamaya manuel girilmiştir.

Verilerin işlenebilir formunun modeli Çizelge 3.2’de sunulmaktadır. Gösterilen modelin sol tarafını sırasıyla şu parametreler oluşturmaktadır; malzemenin coğrafi kapsamı, belgenin referans adresi, malzemenin markası, malzemenin ismi ve varsa teknik detayları (yoğunluk-ısı iletkenlik katsayısı vs.). Modelin sağ tarafını ise sırasıyla şu parametreler oluşturmaktadır; referans alınan ürün birimi, GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF, PERE, PERM, PERT, PENRE, PENRM, PENRT, SM, RSF, NSRF, FW.

Çizelge 3.2 : Oluşturulan veri sayfasının model gösterimi.

A	...	D	Yapı Malzemesinin Adı	1	2	...	...	...	18
			X						
			Y						

Malzeme rayiçleri gözetilerek hazırlanan çevresel etki verileri bir sonraki aşamada ilgili malzemeye atanır. Yapıların çevresel analizinin belirli bir hesap standardına sahip olması için veriler poz numaralarına atanmıştır. Yani hesaplanan veriler arasında inşaat biriminin poz numarasını aratarak ilgili malzemenin çevresel etkisine ulaşılabilir. Veriler atanırken benzer EPD değerlerinden faydalanan iş kalemleri vardır. Örneğin, 10.200.2201-2202-2203-2204 poz numaralarına sahip ‘boyalı alüminyum düz levhalar’ aynı malzemeden yapılan sırasıyla 0,3-0,5-0,7-3 mm kalınlığa sahiptir. Malzemenin referans ölçüsü tüm poz numaraları için kg birimindedir. Malzemelerin kalınlıkları farklı olsa da pozların referans birimleri (1 kg) aynı olduğundan tüm pozlar için çevresel etki verileri aynıdır. Aynı ürünün EPD biriminin ‘0,1 mm kalınlık’ için sunulduğu varsayılırsa, 0,3 mm kalınlıktaki aynı yüzey alanına sahip malzeme için veriler kalınlık oranıyla çarpılır.

Rayiçlere veriler atanırken bazı malzemelerin çevresel etki değeri (ÇED) bulunamamıştır ve bazıları için ise kabuller yapılmıştır. Bunlar sırasıyla:

- ÇED’i bulunamayan pozlar hesaplarda ‘0’ alınmıştır. Bu pozlar; 10.130.9991-su, 10.160.1021-35 arası patlayıcılar, 10.300.1601-sabun, 10.480.5001-7-tohumlar, 10.480.5011-15 arası gübreler ve 10.300.1602-zımpara kâğıdıdır.
- Ahşap parke elemanları ya da mermer çeşitleri gibi temelde aynı malzemeye sahip elemanlar benzer kabul edilmiştir.
- Yapı ‘beşikten kapiya’ yaşam döngüsü sınır koşulu ile analiz edileceğinden dolayı EPD belgelerinin sadece ‘A1-A3’ bölümünün verisi alınmıştır.
- Profil ya da yonga levha gibi boyutları farklı olan malzemelerin ağırlıkları belirlenerek ÇED hesaplanmıştır.
- Porselen karoların boyutları rayiçlerde belirtilmemiştir, bu yüzden m² referans birimi ile ortalama kalınlığa göre veriler hesaplanmıştır.
- İç mekân terrazo karo 2,5 cm ve dış mekân terrazo karo 3,2 cm kabul edilmiştir.
- EPD belgelerinin hazırlanma biçiminden dolayı bazı belgelerde GWP değeri yerine GWP-fosil değeri verilmiştir. Aralarındaki fark biyogenik karbon değerinden kaynaklanmaktadır. Ahşap ürünleri dışında bu iki değer birbirine eşdeğer kabul değerlendirilerek veri bütünlüğünün sağlanması için bu iki değer denk kabul edilmiştir.
- Beton katkı malzemelerinin hesaplanmasında toz ya da sıvı ayrımı yapılmayıp kimyasal içeriğe dikkat edilmiştir.
- Camyünü ve polyester taşıyıcılı örtülerin çevresel değerleri EPD belgesinde benzer olduğundan benzer kabul edilmiştir.

- EPD belgelerinin çok azında ‘kaynak kullanım’ kısmında ‘ND: non data’ ifadesi veya ‘boşluk’ bulunmaktadır. Böyle bir durumda ilgili değer ‘0’ kabul edilmiştir.
- 10.450.1901-2050 arası poz numaralarına sahip boruların çapı belirtilmiş fakat et kalınlığı belirtilmemiştir. Literatür taraması yapılarak ortalama et kalınlığı belirlenip hesaplanmıştır.
- Lastik contalar, farklı boyutlardaki bulonlar, çiviler gibi yapı malzemeleri hesaplanırken ağırlıkları referans alınmıştır. Örneğin EPD belgesi 1 kg galvanizli eloksallı profil için çevresel etkileri belirtmiştir ve poz numarasındaki profil metre birimindedir. Bunun gibi verilerde, 1 m profilin ağırlığı belirlenmiş (literatür ve ürün katalogları incelemesi, malzemeyi bulup doğrudan ağırlığının tespiti gibi nicel yöntemler ile) ve 1 kg profilin verileri dönüştürülmüştür. Ayrıca EPD belgesi olmayan conta ve fitil malzemelerin hepsi kauçuktan yapıldığından, çevresel verileri kauçuktan yapılan malzemeler kullanılarak elde edilmiştir.
- 10.450.9601- bentonit verisinin ‘ODP’ değeri olmadığından ‘0’ kabul edilmiştir.
- Rögar kapaklarında ve ızgara takımlarında rayiçlerde çap değeri ve malzeme türü dışında detay verilmemiştir. Bu yüzden yukarıda belirtildiği gibi nicel inceleme sonucu ortalama ağırlıklar kabul edilmiştir.
- Bütün verilerde en doğru sonuca ulaşmak amaçlanmıştır fakat özellikle ağırlık değeri gereken malzemelerde ağırlık belirlenirken üreticiden üreticiye malzemenin kalite sınıfına göre değerler değişebilmektedir. Bu yüzden, malzemeler için yaygın kullanılan ortalama değerler kabul edilmiştir.
- 10.480.5041-42 poz numaralı malç yani ağaç kabuğu/talaşı pozu için benzer EPD bulunamamıştır fakat ‘kereste’ malzemesi ile benzer olduğundan kereste veri değerleri kabul edilmiştir.
- PE parsel bacalarının değerlerine ‘PE basınçsız boru’ verileri kabul edilmiştir.
- Mermer honlama işleminin çevresel etki değerini veren EPD yoktur fakat bunun yerine bu işlemde kullanılan kimyasalın verileri kabul edilmiştir.
- Tüm mermer karo çeşitlerinin kalınlıkları 2 cm kabul edilmiştir.
- Tek bir ‘bant’ çeşidinin EPD verisi temin edilebildiği için üretim şekli ve içeriği benzer olduğundan diğer bantların verileri de benzer kabul edilmiştir.
- Bakanlığın 2022/3 (01.07.2022 tarihli) birim fiyatlarının dolar karşılığı (1\$ = 16,7456 TL) analizlerde kabul edilmiştir.

- Çalışmada sadece yapı malzemelerinden oluşan rayiçlerin çevresel etkileri hesaplanmaktadır. Maliyet analizlerinde ise işçilik, makine gibi rayiçlerin fiyatları da analize dahil edilmiştir. Fakat işçilik ve makine gibi rayiçlerin çevresel etkileri verilerin doğruluk kalitesini etkilediğinden hesaplanmamıştır.

EPD belgelerinden elektronik tabloya alınan verilerin örneği Çizelge 3.3'te verilmiştir. Örnekte 1 kg 'C2 TE S2 tipi çimento esaslı karo yapıştırıcısının' ve 1 kg 'cam elyaf takviyeli polimerden donatı çubuklarının' çevresel etki verileri işlenebilir forma getirilmiştir. EPD belgeleri taşınabilir belge formatında olduğundan dolayı Çizelge 3.3 üzerindeki veriler elektronik tabloda kullanılamamaktadır. Bundan dolayı EPD belgelerindeki bilgiler Çizelge 3.3'te olduğu gibi elektronik tabloya geçirilmiştir. Çizelge 3.3'te gösterilen modelin sütunları sırasıyla şu parametreleri sunmaktadır: malzemenin coğrafi kapsamı, belgenin referans adresi, malzemenin markası, malzemenin ismi ve varsa teknik detayları (yoğunluk-ısıl iletkenlik katsayısı vs.), referans alınan ürün birimi, GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF, PERE, PERM, PERT, PENRE, PENRM, PENRT, SM, RSF, NSRF, FW. Örneğin birinci satırda veri bilgileri bulunan çimento esaslı karo yapıştırıcısı malzemesinin öncelikle coğrafi kapsam, EPD adresi, ürün markası ve referans alınan ürün birimi bilgileri elektronik tabloya geçirilmektedir. Ardından referans alınan ürün birimine göre, bu örnek için 1 kg, yapı malzemesinin çevresel etki kriterlerinin sayısal sonuçları verilmektedir. Çizelge 3.3'te verilen örnek, yapı malzemeleri için oluşturulan EPD belgelerinin elektronik tabloya geçirilmesini ifade etmektedir.

Çizelge 3.3 : EPD belgesinden alınan verilerin işlenebilir forma getirilmesi.

Coğrafi kapsam	Adres	Yapı malzemesinin markası										Referans alınan ürün birimi		Çizelgenin devamı →		
Global	https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/b78a078c-ffa9-4d59-a96f-08da599e304a/Data	İsomat										1 kg				
Global	https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/62632ef3-755c-4073-a80d-08da599e304a/Data	Vrod-Pultrall										1 kg				
GWP- kgCO ₂ eş.	ODP- kgCFC11 eş.	AP-mol H+ eş.	EP- Freshwater kgP eş.	POCP- kgNMVOC eş.	ADPE- kgSb eş.	ADPF- MJ	PERE- MJ	PERM- MJ	PERT- MJ	PENRE- MJ	PENRM- MJ	PENRT- MJ	SM-MJ	RSF-MJ	NRSF- MJ	FW-m ³
0,633	4,9E-8	0,00257	0,000126	0,00194	1,01E-5	10,2	0,503	0,00735	0,511	10,2	0,00735	10,2	0	0	0	0,00574
3,3	2,56E-7	0,0268	0,00071	0,0185	2,9E-4	17,2	3,31	-0,0193	3,11E-3	3,3	2,56E-7	0,0268	0,00218	0,00071	0,00585	0,0618

Çizelge 3.4 : Maliyet ve çevresel etki verilerinin poz numaralarına atanması.

Poz No	Ölçü Birimi	Rayiç Fiyatı TL	Coğrafi kapsam	Adres	Marka ismi	Malzeme notları											
101301204	Ton	970	Global	https://epdturkey.org/wp-content/uploads/2022/03/EN-S-P-04132_Construction_Adocim_CEM-I-42.5-R-Cement_EN_EPDTurkey.pdf	Adocim	Çizelgenin devamı →											
101301234	Ton	1750	Global	https://epdturkey.org/wp-content/uploads/2022/03/EN-S-P-02234_Construction_Cimsa_Super-White-Cement_EN_EPDTurkey.pdf	Çimsa												
101302001	Ad	1,15	Germany	https://data.lcadatabase.com/datasetdetail/process.xhtml?uid=5a52c178-94e6-45f3-9019-cc957d6d1533	Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.												
→	GWP- kgCO ₂ eş.	ODP-kg CFC11 eş.	AP-mol H+ eş.	EP- Freshwater- Kg P eş.	POCP-kg NMVOC eş.	ADPE- kgSb eş.	ADPF- MJ	PERE-MJ	PERM- MJ	PERT-MJ	PENRE- MJ	PENRM- -MJ	PENRT- MJ	SM-MJ	RSF MJ	NRSF MJ	FW-m ³
908	2,87E-05	2,41	0,134	1,74	0,00132	3868	295	0	295	3864	0	3864	0	0	0	0	5,03
1159	0	7,18	0,302	5,38	0,002	9539	428	0	428	9538	0	9538	0	0	0	0	6,15
4,80E-01	5,06E-12	8,94E-04	2,43E-05	7,73E-05	2,47E-08	4,23E+0	9,07E-01	0	9,07E-01	4,49E+0	0	4,49E+0	4,05E-01	0	0	0	6,10E-04

Çizelge 3.3'te elektronik tabloya geçirilen veriler kullanılarak bu çalışma kapsamında belirtilen rayiç ve analiz poz numaralarına verilerin atanması işlemine örnek Çizelge 3.4'te verilmiştir. Her bir poz numarasının ölçü birimi, belirtilen dönemdeki fiyatı, EPD belgesinin temsil ettiği coğrafi kapsam, EPD belgesinin referans adresi, malzemenin marka ismi ve varsa teknik notları sırasıyla yazılır. Daha sonra birimleri dikkate alınarak çevresel etki verileri hesaplanır. Hem rayiçlerin hem de birim analizlerin poz numaraları veri sayfasına yazılırken sadece rakamlar alınmıştır. Ayrıca görevi gören 'nokta' sembolleri alınmamıştır. Bu sayede analizlerde kullanılacak olan elektronik tablo temelli uygulamada sorgulama daha basit ve hızlı biçimde gerçekleştirilebilecektir. Analizde çevresel etki değerleri poz numarası ile aranmaktadır. Örneğin Çizelge 3.4'te üçüncü satırda verilen poz numarası '101302001' olan ve boyutları '190 x 85 x 190' mm olan yatay delikli bir adet tuğlanın çevresel etki verileri hesaplanırken öncelikle hem poz numarasının hem de EPD belgesinin temsil ettiği yapı malzemesinin birim referans değerleri karşılaştırılır. Tuğla için bulunan EPD belgesindeki referans birim ' m^3 ' ve poz numarasının temsil ettiği referans birim '1 adet'tir. Referans birimler farklı olduğundan dolayı EPD belgesindeki $1 m^3$ tuğlanın çevresel etki kriterlerinin sonuçlarını temsil eden veriler poz numarasına atanamamaktadır. Bu durumda EPD belgesindeki yapı malzemesinin özellikleri bölümünden alınan birim ağırlık değeri yardımıyla, bu örnek için $575 kg/m^3$, çevresel etki verileri 1 adet tuğlayı temsil edecek şekilde dönüştürülür. Bu işlem için her iki birim arasında dönüşüm katsayısı hesaplanır. $1 m^3$ tuğla $575 kg$ ağırlığa sahiptir. Bu durumda ya 1 adet tuğlanın hacmi hesaplanarak ya da 1 adet tuğlanın ağırlığı hesaplanarak dönüşüm katsayısı elde edilecektir. Tuğla için hacim dönüşümü tuğlanın boşluk durumunun değişkenliğinden dolayı yanıltıcı olabileceğinden bir adet tuğlanın ağırlığını bulunarak hesaplama yapılmıştır. Tuğlanın ortalama ağırlığı $1,9945 kg/adet$ olarak belirlenmiştir. Bu ağırlık EPD belgelerinin ürün özellikler bölümünden ve malzeme üreticilerinin sunduğu teknik föylerden olmak üzere iki şekilde elde edilmektedir. 1 adet tuğla $1,9945 kg$ olduğundan EPD belgesindeki çevresel etki kriterlerini $1 m^3$ 'ten 1 adete dönüştürmek için her bir veri $1,9945/575$ dönüşüm katsayısı ile çarpılarak pozun çevresel etki değerleri hesaplanır. Dönüşüm katsayısı 1 adet tuğla ile EPD belgesindeki $1 m^3$ tuğlanın ağırlık oranını temsil etmektedir. Benzer işlem adımları bakanlığın inşaat malzemelerinin bütün rayiç pozları için hesaplanmış ve rayiç pozlarının diğer bir ifadeyle yapı malzemelerinin çevresel etki verilerinin hesap sonuçları **Ek A**'da sunulmuştur.

Rayiçlerden sonra birim iş tariflerinin değerleri hesaplanarak iş kaleminin poz numaralarına çevresel etki gösterge değerleri atanmaktadır. Çizelge 3.5' te 'Alçı levhalar ile çift iskeletli askı sistemli asma tavan yapılması' tanımlı ve '15.530.1928' poz numaralı iş kaleminin birim fiyat analizi verilmiştir. Birim fiyat analizindeki iş kaleminin 1 biriminin yapılabilmesi için gereken yardımcı pozlar, bu pozların miktarı ve birim fiyatı tarifte belirtilmektedir. Bu yardımcı pozlar rayiç olarak adlandırılır. Malzeme, taşıt ve işçilik rayici gibi bölümlere ayrılır. Çalışmanın amacı yapım projelerinde kullanılan yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin analizi olduğundan dolayı malzeme rayici hariç diğer rayiçlerin çevresel etkisi hesaplanmamıştır. Fakat bütün rayiçlerin birim fiyatı analizlere dahil edilmiştir. Birim analiz pozlarının çevresel etki değerlerini hesaplamak için iş tarifini oluşturan yardımcı pozların çevresel etki değerlerinin pozun kullanım miktarıyla çarpılarak toplanması gerekmektedir. Çizelge 3.5'te verilen analiz pozunun çevresel etkilerini hesaplamak için yardımcı pozların (rayiçlerin) çevresel etki verilerine ihtiyaç vardır. Örneğin, '15.530.1928' iş kaleminden 1 m² yapmak için 2,1 m² '10.240.5613' poz numaralı malzeme gerekmemekte ve bu malzemenin 1 m² fiyatı 15,2 TL'dir. İlgili iş tarifinin '10.240.5613' yardımcı pozunun çevresel etki verileri 2,1 ile çarpılarak '15.530.1928' iş kaleminden 1 m² imalatı sonucunda oluşan çevresel etki hesaplanır. Bu işlem ilgili iş tarifinin bütün malzeme rayiçleri için tekrarlanır ve elde edilen değerlerin toplamı 1 m² asma tavan yapımının çevresel ve mali değerlerini sunmaktadır. Bakanlığın inşaat birim analiz pozlarının tamamı için bu hesaplama yapılmıştır. Analiz pozlarının hesaplama sonucu elde edilen birim maliyet ve çevresel etki değerleri **Ek B**' de sunulmuştur.

Çizelge 3.5 : Birim fiyat analizi.

Poz No	15.530.1928				
Tanım	Alçı levhalar ile çift iskeletli askı sistemli asma tavan yapılması (Askı çubuğu mes. Aynı yönde 750mm, ana taşıyıcı profil mes. 800mm, tali taşıyıcı profil mes.500mm aks aralıkları ile) (12,5mm çift kat yang. day. arttırılmış alçı levha ile)				
Uzun Tanım	Alçı levhalar ile çift iskeletli askı sistemli asma tavan yapılması (Askı çubuğu mesafesi aynı yönde 750 mm, ana taşıyıcı profil mesafesi 800 mm, tali taşıyıcı profil mesafesi 500 mm aks aralıkları ile) (12,5 mm çift kat yangına dayanımı arttırılmış alçı levha ile)				
Birim	M2				
Pozun Tipi	Analiz				
Bulunduğu Kitap	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019 ve Sonrası				
15.530.1928 Pozu Analizi					
Kitap	Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)
ÇŞB	10.240.5613	Malzeme: 12,5 mm kalınlığında yangına dayanımı artırılmış (Tip F) alçı levha	M2	2,1	15,20
ÇŞB	10.200.3003	Tavan U 28 profilili 0.50 mm kalınlıkta, yanak yüksekliği en az 27 mm, sıcak daldırma galvanizli, akma dayanımı en az>=140N/mm2 olan sacdan mamul,>=Z100 (TU28) (Alçı levhalar için)	MT	0,84	5,5
ÇŞB	10.200.3002	Tavan C 60 profilili en az 60x27 mm ebatlarında ve 0.60 mm kalınlıkta, sıcak daldırma galvanizli, akma dayanımı en az>=140N/mm2 olan sacdan mamul,>=Z100 (TC60) (Alçı levhalar için)	MT	3,675	11
ÇŞB	10.200.3032	Yalıtım bandı (3 mm polietilen süngerden mamul kendinden yapışkanlı genişlik: 5 cm	MT	0,8	0,62
ÇŞB	10.200.3026	Ekleme parçası, 9 cm uzunlukta, 0.6 mm kalınlıkta sıcak daldırma galvanizli, akma dayanımı en az>=140N/mm2 olan sacdan mamul,>=Z100	AD	0,7	1,4
ÇŞB	10.420.1012	Vida ve plastik dübel	AD	1,6	0,53
ÇŞB	10.200.3137	Çelik dübel (6x45 vida, kovan, I-demir ve somun dahil)	AD	2,1	1,05
ÇŞB	10.200.3028	Agraf 12 cm 1 mm kalınlıkta, sıcak daldırma galvanizli, akma dayanımı en az>=140N/mm2 olan sacdan mamul,>=Z100	AD	2,1	2,1
ÇŞB	10.200.3030	Agraf vidası (karbon çeliğinden mamul, krom kaplı sivri uçlu her ebatta) kutu:500 adet	KUTU	0,0042	39
ÇŞB	10.200.3023	Klips 7,5 cm uzunlukta, 0.8 mm kalınlıkta sıcak daldırma galvanizli, akma dayanımı en az>=140N/mm2 olan sacdan mamul,>=Z100	AD	4,6	0,6
ÇŞB	10.420.1013	Her ebatta 1 kutu (1000adet) borazan vida	KUTU	0,026	58,50
ÇŞB	10.200.3031	Derz bandı (cam elyafından mamul, kendinden yapışkanlı genişlik: 5 cm)	MT	1,6	0,39
ÇŞB	19.100.2434	Derz dolgu alçısı harcı hazırlanması	M3	0,0005	1074,21
		İşçilik:			
ÇŞB	10.100.1033	Alçı levha ustası	SA	1,6	45
ÇŞB	10.100.1038	Alçı levha usta yardımcısı	SA	1,6	33,5
ÇŞB	10.100.1062	Düz işçi (inşaat işçisi)	SA	0,2	32,5
		(İnşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, boşaltma dahil)			
Analiz Toplam					
%25 Kar					
Analiz Karlı Toplam					

3.3 Metraj İşlemleri ve Çevresel Etki Analizi için Elektronik Tablo Tabanlı Uygulamanın Oluşumu

Bir iş kaleminin inşası için gerekli bileşenlerin miktarının ölçülerek birimlerle ifade edilmesi işlemi metraj olarak tanımlanır. Çevresel etki analizi, yapıyı inşa etmek için gerçekleştirilecek iş kalemlerinin her biri için gerekli olan inşaat malzeme türlerinin ve miktarlarının hesaplanmasını içermektedir. Bu bölümde konut yapılarında en az veri girdisiyle metraj, enerji ihtiyacı, maliyet ve çevresel kriterlerin hesabı için yapılan işlem adımları anlatılacaktır. Analizlerde elektronik hesap tablosu temelli bir uygulama kullanılmıştır.

3.3.1 Yapı elemanı boyutlarının ve özniteliklerinin çekilmesi ile metraj hesabı

Çalışmada hesaplamalarda kullanılacak olan metraj miktarını belirlemek için elektronik hesap tablosundaki fonksiyonlardan yararlanılmıştır. Analizi yapılacak olan konut yapısının duvar kalınlığı, kat yüksekliği, tüm yapının ve yapıyı oluşturan mahallerin en-boy uzunlukları, pencere ve kapıların en ve boy uzunlukları, malzemelerin birim ağırlıkları hesap cetveline girilerek yapının metrajı en az müdahale ile otomatik olarak hesaplanmaktadır. Şekil 3.2’de yapının malzeme ve mahal niteliklerinin girildiği hesap cetveli ekranı sunulmuştur. Yapıda kullanılan malzemelerin metrajı genel olarak birbiri ile bağlantılıdır. Örneğin, duvar metrajı aynı zamanda iç duvarlar için yapılacak olan boya veya sıva miktarını vermektedir. Yapının dış yüzeylerinden pencere ve kapı alanlarının düşülmesiyle elde edilen alan mantolamanın metrajını yüksek doğrulukta verebilir. Bundan dolayı öncelikle yapıyı oluşturan eşsiz mahallerin en ve boy uzunluğu belirlenir. Bu uzunluk, konutun tüm duvarları kaldırıldıktan sonra projede akstan aksa ve duvarlı durumda duvarlar arasında ölçülerek elde edilir. Bunun sebebi farklı duvar kalınlıklarının yapıdaki mantolama, sıva, boya, mantolama dübeli, mantolama filesi, yer kaplaması gibi malzemelerin metraj miktarını değiştirmesidir. Yüksek doğrulukta metraj miktarı elde edebilmek için mahallerin en ve boy ölçüsü belirtildiği gibi iki şekilde de hesap cetveline girilmektedir. Mahallerin en ve boy ölçüleri aynı zamanda tavan ve taban imalatlarının miktarını da vermektedir. Pencerelerin boyutları hem dış ve iç yüzeydeki duvar, boya gibi malzemelerin miktarını etkilerken hem de pencere kenarlarına yapılan sıva, denizlik gibi malzemelerin miktarını değiştirmektedir. Aynı zamanda pencere boyutu yardımıyla yapıya gereken cam ve doğrama miktarı da hesaplanır. Benzer durum kapı elemanı için de geçerlidir. Yapıyı oluşturan tek bir katın minhasız alanı çatı ve çatı işlerini temsil eden yalıtım, kiremit, mahya, osb miktarı gibi bütün malzemelerin metrajını yapılan poz tarifleri yardımıyla vermektedir. Ayrıca yapıdaki

betonarme elemanların boyutları ve miktarları girilerek yapıda kullanılan beton, donatı ve kalıp miktarı da yüksek doğrulukta hesaplanmaktadır.

yapı yüksekliği-metre	2,95	m					
yapı x-doğrultu-boy	11,8	m					
yapı y-doğrultusu-en	7,8	m					
Duvar kalınlığı	20	cm					
Duvar kalınlığına göre mahallerin boyutları							
	cm	cm	cm	cm	m2		
Mahal	duvarsız x-doğrultusu	duvarsız y-doğrultusu	x-doğrultusu uzunluğu	y-doğrultusu uzunluğu	metraj-tavan-taban	duvar alanı (tavan hariç)	
YO1	375	405	345	375	12,9375	39,055	
YO2	505	375	475	345	16,3875	46,19	
Salon	675	375	645	345	22,2525	50,66	
Mutfak	335	405	305	375	11,4375	36,695	
Banyo	265	220	245	200	4,9	24,19	
Hol-1	210	230	190	210	3,99	21,29	
Hol-2	420	180	400	160	6,4	33,04	
Kapı eşikleri	600	20	600	20	1,2		
Pencere ölçüleri	en-cm	boy-cm	pencere iç kenar siva-m2	pencere alanı-m2			
P1	150	100	0,175	1,5			
P2	150	100	0,175	1,5			
P3	50	50	0,075	0,25			
P4	400	150	0,35	6			
P5	200	10	0,11	0,2			
				9,45			
Kapı ölçüleri	en-cm	boy-cm	kapı alanı-m2				
K1	110	210	2,31				
K2	100	210	2,1				
K3	90	210	1,89				
K4	100	210	2,1				
K5	100	210	2,1				
K6	100	210	2,1				
			12,6				

Şekil 3.2 : Yapıyı oluşturan mahallerin ve malzemelerin boyutlarının girilmesi.

Yapı elemanlarının öznitelik bilgilerinden birini de yapının kabuk elemanlarını oluşturan yapı malzemelerinin kalınlık ve ısı değerlerinin belirlenmesidir. Çalışmada malzemelerin ısı değeri TSE 825 Ek-E'den elde edildiğinden, elektronik hesap cetvelinde yönetmelikteki değerlerden oluşan bir sayfa oluşturulmuştur. Şekil 3.3'te bu sayfanın görünümü verilmiştir.

	B	C	D	E	F
1	Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi ^{1,2)} kg/m ³	Isıl iletkenlik hesap değeri (h3) W/mK	Su buharı difüzyon direnç faktörü m4)
125	6	YAPI PLAKALARI VE LEVHALAR			
126	6.1	Gaz beton yapı levhaları (TS EN 771-4'e uygun plakalar)			
127	6.1.1	Normal derz kalınlığında ve normal harçla yerleştirilen levhalar	400	0,2	5/10
128			500	0,22	5/10
129			600	0,24	5/10
130			700	0,27	5/10
131			800	0,29	5/10
132	6.1.2	İnce derzli veya özel yapıştırıcı kullanılarak yerleştirilen levhalar	350	0,11	5/10
133			400	0,13	5/10
134			450	0,15	5/10
135			500	0,16	5/10
136			550	0,18	5/10
137			600	0,19	5/10
138			650	0,21	5/10
139			700	0,22	5/10
140			750	0,24	5/10
141			800	0,25	5/10
142	6.2	Hafif betonduvar duvar plakaları	800	0,29	5/10
143			900	0,32	5/10
144			1000	0,37	5/10
145			1200	0,47	5/10
146			1400	0,58	5/10
147	6.3	Alçıdan duvar levhalar ve bloklar (gözenekli, delikli, dolgu veya agregalı olanlar dâhil) (TS 451 EN 12859, TS EN 520, TS 1474'e uygun)	750	0,35	5/10
148			900	0,41	5/10

Şekil 3.3 : Yapı malzemelerinin ısı değerlerinin elektronik hesap cetveline işlenmesi.

Yönetmeliğin belirlediği değerler Şekil 3.3'te verildiği gibi yapı malzemeleri, birim hacim kütlesi ve ısı iletkenlik değerlerinden oluşmaktadır. Analizlerde yapı kabuğunu oluşturan malzemelerin isimleri bu değerler ile eşleştirilerek her bir malzemenin değişimiyle malzemeye ait ısı iletkenlik değeri de ısıtma enerjisi ihtiyacı elektronik hesap tablosunda müdahalesiz bir şekilde değişmektedir. Örneğin Şekil 3.4'te ısı kaybı hesap çizelgesinde çerçeveye belirlenmiş hücredeki formül yardımıyla farklı kabuk malzemelerinin ısı iletkenlik değeri 'TSE 825' sayfasındaki değerlerle eşleştirilerek müdahalesiz bir şekilde çekilmektedir. Örnekte Bölüm 3.4.1'de detaylı anlatılan iş kalemlerine alternatif oluşturma işlemiyle gazbeton yerine bims, tuğla gibi farklı yapı malzemeleri seçildiğinde ısı iletkenlik değeri değişmektedir.

=EĞER('yapı EE-ECO2 analizi'!\$H\$52='poz tarifleri'!\$D\$39;'TSE 825 çizelge ve ekler'!\$E\$197;'TSE 825 çizelge ve ekler'!\$E\$270)										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Binadaki yapı elemanları		Yapı elemanı kalınlığı	Isıl iletkenlik hesap değeri		Isıl iletkenlik direnci	Isı geçirgenlik katsayısı	Isı kaybedilen yüzey	Isı kaybı		
		d	λ_n		R	U	A	A x U		
		(m)	(W/mK)		(m ² K/W)	(W/m ² K)	(m ²)	W/K		
Duvar yüzeyleri	R _i				0,13					
	iç sıva	0,02	1		0,02					
	gaz beton	0,2	=EĞER('yapı EE-ECO2 analizi'!\$H\$52		0,8					
	sıva+boya	0	='poz tarifleri'!\$D\$39;'TSE 825 çizelge		0					
	dış sıva	0,025	ve ekler'!\$E\$197;'TSE 825 çizelge ve ekler'!\$E\$270)		0,015625					
R _e					0,04					
Toplam					1,005625	0,994406464	107,8	107,1970168		
Betonarme yüzeyler Hatıllar için	R _i				0,13					
	iç sıva	0,02	1,2		0,016666667					
	hatıllar	0,2	2,5		0,08					
	sıva+boya	0	0,04		0					
	dış sıva	0,025	1,4		0,017857143					
R _e					0,04					
Toplam					0,28452381	3,514644351	5,88	20,66610879		
Hazırlanan EE-ECO2 tarifleri poz tarifleri Birim değerler ısı kaybı hesap TSE 825 çizelge ve ekler TS 2164 yapı EE-ECO2 analizi Veri Giriş Sayfası										

Şekil 3.4 : Isı kaybı hesabı formülasyonu.

Yapı elemanı boyutlarının ve yapı malzemesi özelliklerinin atanması işlemleri bütün girdilerin bir arada kullanılacağı yapının analizi için bir hazırlığı oluşturmaktadır.

3.3.2 İş tariflerine alternatiflerin oluşturulması ve atanması

Yapılar için gerekli inşaat malzemeleri ve ekipman miktarları, ilgili inşaat kalemlerinin iş tanımları ve metraj verileri ile hesaplanır. İş tanımları, ilgili inşaat kaleminin bir birimini inşa etmek için gerekli malzeme miktarlarını sağlamaktadır. Gereken yapı malzemesinin ve ekipmanının (iskele vb.) hesabı Denklem 3.1-2-3'te gösterilmektedir (Bettemir ve Bulak, 2022).

$$M_{j,k} = (Metraj_j) * \sum_{x=1}^{ps} POZ_{x,k} \quad (3.1)$$

$$E_{j,m} = (Metraj_j) * \sum_{x=1}^{ps} POZ_{x,m} \quad (3.2)$$

$$AS_{j,l} = (Metraj_j) * \sum_{x=1}^{ps} POZ_{x,l} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.1-2-3'te x indisi poz tariflerinin uygulanma değerini, j indisi iş kalemi sayısını, k indisi yapı malzemesi sınıfını, m indisi ekipman sınıfını, l indisi adam.saat sınıfını, ps indisi poz sayısını temsil etmektedir. $M_{j,k,j}$ j'ninci aktivitenin tamamlanması için kullanılması gereken k'ninci malzeme sınıfının miktarını, $AS_{j,l}$ j'ninci aktivitenin tamamlanması için kullanılması gereken l'ninci adam.saat sınıfının miktarını ve $E_{j,k}$ ise ekipman miktarını belirtir. Metraj_j değeri yapının j iş kaleminin metrajını göstermektedir. $POZ_{x,m}$ indisi x'inci ekipman poz tarifini, $POZ_{x,l}$ indisi l'ninci personel sınıfının adam.saat tarifini ve $POZ_{x,k}$ ise k'ninci malzeme poz tarifini ifade etmektedir.

İnşaatta kullanılan malzeme, işçi ve ekipmandan oluşan farklı kaynakların iş kalemlerinin tarifi Eşitlik 3.1-2-3'te POZ_x olarak temsil edilmiştir. Çalışmada Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022/3 (01.07.2022 tarihli) birim analizlerinden yararlanılarak ilgili yıldaki inşaat işlerinin poz tariflerinin tamamı hesap cetveli temelli bir uygulamaya tanımlanmıştır. Çizelge 3.6'da uygulamaya tanımlanan 1550 tane iş kaleminin poz tariflerinin oluşumuna tuğla duvar yapımı örnek olarak verilmiştir. Çizelge 3.6'da ilk sütun iş kaleminin yapımını temsil eden 'analiz pozu'nu vermektedir. Bu iş kalemini yapmak için gereken malzeme, işçi ve teçhizat kaynakları üçüncü sırada olan 'yardımcı poz' sütununda verilmektedir. Her poz numarasının bir sağ sütununda ilgili pozun birimi belirtilmiştir. Son sütunda ise ilgili iş kaleminin (analiz pozundan) bir birim inşası için kaç birim yardımcı poza ihtiyaç olduğu verilmiştir.

Çizelge 3.6: Poz tariflerinin oluşturulması.

Analiz pozu	Analizin birimi	Yardımcı poz	Yardımcı poz birimi	Yardımcı poz birim miktarı
15.220.1005	m ²	10.130.2002	ad	36
		19.100.2419	m ³	0,027
		10.130.9991	m ³	0,01
		10.100.1013	sa	0,67
		10.100.1062	sa	1,24
15.220.1006	m ²	10.130.2010	ad	15
		19.100.2419	m ³	0,018
		10.130.9991	m ³	0,01
		10.100.1013	sa	0,68
		10.100.1062	sa	1,36
15.220.1007	m ²	10.130.2012	ad	29
		19.100.2419	m ³	0,032
		10.130.9991	m ³	0,01
		10.100.1013	sa	0,7
		10.100.1062	sa	1,4
15.220.1008	m ²	10.130.2014	ad	21
		19.100.2419	m ³	0,027
		10.130.9991	m ³	0,01
		10.100.1013	sa	0,71
		10.100.1062	sa	1,42

Örneğin, Çizelge 3.6'nın ilk satırında verilen '15.220.1005' numaralı poza sahip '190 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 190 x 135 mm) ile duvar yapılması' iş kaleminden 1 m² yapmak için 5 farklı kaynak gereklidir. Bunlar aşağıda sıralanan kaynaklardan belirtilen miktarların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır:

- 1) 36 adet '10.130.2002' poz numaralı '190 x 135 x 190 mm yatay delikli tuğla (zayiat dahil)',
- 2) 0,027 m³ '19.100.2419' poz numaralı 'kireç harcı yapılması',
- 3) 0,01 m³ '10.130.9991' poz numaralı 'su',
- 4) 0,67 saat '10.100.1013' poz numaralı 'duvarcı ustası',
- 5) 1,24 saat '10.100.1062' poz numaralı 'düz inşaat işçisi'.

İş tarifleri, hesap cetveline kısa poz tanımı ve poz numaraları yardımıyla tanımlanarak sarfiyat miktarı diğer bir deyişle yardımcı poz miktarlarının belirlenmesi işlemi yapılmıştır. Oluşturulan elektronik tablonun örneği Şekil 3.5'te verilmiştir. Şekil 3.5'te A sütunu analizin pozunu, B sütunu pozun kısa tanımını ve C sütunu pozun birimini temsil etmektedir. D sütunu, A sütununda belirtilen iş kalemini gerçekleştirmek için gereken yardımcı pozları ve E sütunu ise yardımcı pozların birimini vermektedir. Yardımcı pozların birim sarfiyat miktarı F sütununda verilir. Hesap cetvelinin G-H-I-J-K-L-M-N sütunlarında her bir yardımcı poz için birim maliyet ve EPD belgelerinden derlenen birim çevresel etki değerleri bulunmaktadır. Bu değerlerin her biri F sütununda bulunan birim sarfiyat değeri ile çarpılarak A sütunundaki iş kaleminden bir birim yapılmasıyla her bir yardımcı pozun hesap kriterlerindeki etkisini vermektedir. 8 kriterinin etkisi hesaplanan yardımcı pozlar toplanarak bir birim analiz pozu diğer bir deyişle iş kaleminin yapımında kriterlerde oluşan etki hesaplanmaktadır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Analiz pozu	Analiz tanımı	Analiz birimi	Yardımcı poz	Yardımcı poz birimi	Yardımcı poz birim miktar	Rayiç Fiyatı (\$)	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF
7078				102405604	m ²	2,1	1,19E+00	2,52E+00	3,37E-07	1,08E-02	1,20E-03	7,20E-03	3,60E-05	5,20E+01
7079				102003016	m	0,84	9,73E-01	7,02E-01	5,13E-08	7,58E-03	4,05E-04	1,94E-03	1,72E-05	1,03E+01
7080				102003010	m	2,1	1,10E+00	8,88E-01	6,48E-08	9,58E-03	5,13E-04	2,16E-03	2,17E-05	1,31E+01
7081				102003034	m	1,3	1,0E-01	1,3E-01	1,3E-12	1,4E-03	1,2E-03	9,3E-05	5,4E-07	3,3E+00
7082				104201012	Ad	2,2	3,17E-02	1,88E-02	5,05E-10	1,47E-04	3,44E-06	2,57E-05	2,51E-06	2,48E-01
7083	155301318	Tip H2 alçı levhalar ile tek iskeletli bölme duvar yapılması m ²		104201013	Kt	0,025	3,49E+00	4,22E+00	7,05E-09	3,65E-02	5,05E-04	3,14E-03	7,34E-04	4,73E+01
7084				102003031	m	3	2,33E-02	6,63E-02	6,43E-13	6,86E-04	6,22E-04	4,64E-05	2,68E-07	1,63E+00
7085				191002434	m ²	0,001	6,41E+01	6,64E+01	8,35E-06	3,42E-01	1,78E-02	2,28E-01	2,63E-03	9,92E+02
7086				101001033	Sa	1,1	2,69E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
7087				101001038	Sa	1,1	2,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
7088				101001062	Sa	0,2	1,94E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
7089				102405614	m ²	2,1	1,10E+00	2,78E+00	3,97E-07	9,60E-03	1,20E-03	7,20E-03	3,94E-05	4,26E+01
7090				102003016	m	0,84	9,73E-01	7,02E-01	5,13E-08	7,58E-03	4,05E-04	1,94E-03	1,72E-05	1,03E+01
7091				102003010	m	2,1	1,10E+00	8,88E-01	6,48E-08	9,58E-03	5,13E-04	2,16E-03	2,17E-05	1,31E+01
7092				102003034	m	1,3	1,02E-01	1,33E-01	1,29E-12	1,37E-03	1,24E-03	9,27E-05	5,36E-07	3,26E+00
7093				104201012	Ad	2,2	3,17E-02	1,88E-02	5,05E-10	1,47E-04	3,44E-06	2,57E-05	2,51E-06	2,48E-01
7094	155301319	Tip F alçı levhalar ile tek iskeletli bölme duvar yapılması m ²		104201013	Kt	0,025	3,49E+00	4,22E+00	7,05E-09	3,65E-02	5,05E-04	3,14E-03	7,34E-04	4,73E+01
7095				102003031	m	3	2,33E-02	6,63E-02	6,43E-13	6,86E-04	6,22E-04	4,64E-05	2,68E-07	1,63E+00
7096				191002434	m ²	0,001	6,41E+01	6,64E+01	8,35E-06	3,42E-01	1,78E-02	2,28E-01	2,63E-03	9,92E+02
7097				101001033	Sa	1,1	2,69E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
7098				101001038	Sa	1,1	2,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
7099				101001062	Sa	0,2	1,94E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
7100				102405614	m ²	2,1	1,10E+00	2,78E+00	3,97E-07	9,60E-03	1,20E-03	7,20E-03	3,94E-05	4,26E+01
7101				102003016	m	0,84	9,73E-01	7,02E-01	5,13E-08	7,58E-03	4,05E-04	1,94E-03	1,72E-05	1,03E+01
7102				102003010	m	2,1	1,10E+00	8,88E-01	6,48E-08	9,58E-03	5,13E-04	2,16E-03	2,17E-05	1,31E+01

Şekil 3.5 : İş tarifleri için oluşturulan elektronik hesap cetveli sayfası.

Yardımcı pozlardaki verilerin bir araya gelmesi ile analiz pozları oluşmaktadır. Hesap cetveline 1550 tane iş kalemi tarifi ve bu iş kalemlerini oluşturan 5008 tane yardımcı pozun hesap kriterleri tanımlanmıştır. Oluşturulan 1550 tane iş tarifi sayesinde, bir imalata birden çok sayıda alternatif oluşturulabilmektedir. Örneğin 30 farklı mantolama iş kalemi yardımcı pozlarla tanımlanmıştır. Her türlü boyutta yatay-düşey delikli tuğla, harman tuğlası, farklı yoğunluklardaki gazbeton bloklar, farklı boyutlardaki bimsbeton, sandviç paneller, eps katkılı beton bloklar, kireç-kum taşı, farklı boyut ve alçı levha türü ile duvar yapımı iş kalemleri de bir başka örnektir. Yapının su sitemlerinde kullanılan boruların yapım işleri de elektronik hesap cetveline tanımlanmıştır. Örneğin anma çapı 100-125-160-200 mm olan 4 farklı pvc esaslı koruge drenaj borusunun döşenmesi iş kaleminin bütün yardımcı pozları, bu pozların birim sarfiyatı ve 8 hesap kriterinin birim değerleri oluşturulmuştur. Poz tarifi oluşturulan kalemler; farklı yüksekliklerdeki çelik kalıp iskelesi, boru döşeme, fore kazık yapılması, beton dökümü, ön gerilmeli bloklar, donatı, profil, kalıp, kür uygulamaları, pvc-aşşap-karo-porselen-terrazo gibi yüzey kaplamaları, boya, duvar kağıdı, pvc-tpo-bitüm-jeomembran gibi farklı şilte su yalıtımları veya poliürea gibi sıvı su yalıtımları, perlitli-alçılı vb. sıva ve derz dolgu yapımı, çatı ve elemanlarının yapımı, osb-sunta gibi farklı içerik ve boyutları sahip aşşaplar, çinko-alüminyum-shingle-kiremit-beton vb. farklı çatı kaplamalarının yapımı, yağmur olukları, taşıyünü-camyünü-xps-eps-grafiti gibi farklı kalınlıklardaki yalıtımlar, farklı yalıtım çekirdeklerine sahip çatı ve duvar kaplama panelleri, bölme duvarlar, pvc-alüminyum-aşşap doğramalar, düz-ısı kaplamalı gibi farklı kalınlıklarda camlar, pvc-alüminyum malzemelerden farklı türlerde asma tavan yapılması, rögar yapım işleri, alüminyum çit yapımı, farklı özelliklere sahip badana-boya yapım işleri

örnek verilebilir. Bu örneklerde boyut, malzeme türü gibi özellikler belirtilmemiştir. Bu çalışma adımı sayesinde birçok iş kaleminin tarifi oluşturulmuş ve iş kalemlerine alternatifler belirlenmiştir. Analiz pozlarını oluşturan yardımcı pozların sarfiyat ve birim değerlerinin hesabı da çalışmanın maliyet, metraj ve çevresel etki hesabında kolaylık sağlamıştır.

İnşaat maliyeti hesaplanırken poz tariflerinin birim fiyatlarını belirlemek için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022/3 (01.07.2022 tarihli) birim fiyatları 1\$ = 16,7456 TL kur değeri ile dolara çevrilmiştir. Bu çalışma için metraj hesabı maliyet ve çevresel etki değerlendirme verileri için kullanılacaktır. Çalışmada analiz edilen yapının bütün poz numaralarının maliyeti hesaplanmıştır. Fakat, çevresel performans göstergelerinin hesaplanmasında yapı malzemelerinin ve ekipmanlarının (iskele vb.) analizi yapılmıştır.

3.3.3 İş kalemlerinin metraj, maliyet ve çevresel etki hesabını yapan elektronik hesap tablosu

İş tarifleri ve karakteristik özellikleri elektronik hesap cetveline tanımlanan malzemelerin metraj miktarı en az kullanıcı müdahalesi ve emeği ile hesaplandıktan sonra bütün veriler bir arada formüle edilerek analizler yapılır. Yapıların başlangıç tasarımına göre maliyet ve çevresel kriterlerinin hesabının yanı sıra değişecek iş kalemleri ile oluşan revize edilmiş yeni yapı tasarımlarının da maliyet ve çevresel kriterleri hesaplanmaktadır. Bundan dolayı iş kalemlerinin değiştirilmesiyle en az kullanıcı müdahalesiyle hesap sonuçlarını veren elektronik hesap cetveli programı oluşturulmuştur. Analizlerde kullanılmak için geliştirilen elektronik hesap tablosunun görünümü Şekil 3.6’da sunulmaktadır. Elektronik tabloda Bölüm 3.3’te detaylı anlatıldığı gibi her sayfada farklı bir girdi verisi vardır ve bütün veriler birbirleriyle bağımlıdır. Metrajın hesaplandığı sayfa, poz numaraları ve hesap kriterlerinin bulunduğu veri sayfası, poz tariflerinin yapıldığı sayfa bu duruma örnek olarak verilebilir. Şekil 3.6’da A sütunu yapıda değiştirilebilir iş kalemlerinin alternatiflerini hücre içinde açılabilir liste halinde vermektedir. Örneğin A39 hücresindeki ‘25 cm gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması’ iş kalemine bims beton, eps katkılı beton, kireç-kum taşı ve yatay delikli tuğla olmak üzere 4 farklı alternatif iş kalemi atanmıştır. Açılabilir hücrede farklı bir alternatifin seçilmesiyle, alternatifi temsil eden hesap kriterleri kullanıcı müdahalesiz bir şekilde program tarafından değiştirilerek yapının her bir maliyet ve çevresel kriterinin toplamı hesaplanmaktadır. Şekil 3.6’da B sütunu yapıyı oluşturan iş kalemlerinin poz numaralarını vermektedir. Alternatifi olan iş kalemlerinin poz numaraları değiştiğinden dolayı, bu kalemlerin poz numaraları B sütununda ‘1’ indisinin temsil ettiği formül

yardımla A sütunundan çekilmektedir. C sütunu pozların tanımı vermekte ve poz numarasına bağlı olarak değişmektedir. D sütununda iş kaleminin birimi ve E sütununda ise metraj miktarı verilmektedir. Şekil 3.6’da sunulan hesap çizelgesinde poz numarasının bulunduğu B sütunun sağında bulunan bütün sütunlar poz numaralarına göre bağlı oluşturulduğundan poz numaralarına göre değişebilmektedir. Örneğin G35 hücresinde bulunan iş kaleminin GWP değeri Şekil 3.6’da ‘2’ indisinin temsil ettiği formül yardımıyla hesaplanmaktadır. Formül önce veri tabanından poz numarasına göre ‘6 cm kalınlıkta taşıyıcı levhalar ile dış duvarlarda dıştan ısı yalıtımı’ iş kaleminin 1 m² birimi için GWP değerini ‘düşeyara’ fonksiyonu ile veri sayfasında arayarak getirmektedir. Ardından getirilen bu değeri iş kaleminin metraj miktarıyla çarparak toplam etkiyi hesaplamaktadır. Bütün iş kalemleri için benzer işlemler yapılarak hesaplama tamamlanır. Hesaplamalarda poz tariflerinden yararlanıldığından dolayı yapının üretimi için kullanılacak olan yardımcı yapı malzemelerinin de hesap kriterleri üzerindeki etkisi belirlenmektedir.

A										B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
İş kalemi alternatif seçimi										Poz no	Tanım	Birim	Miktar	Fiyat (\$)	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF		
1											155351027:	Arka yüzü akustik kumaş kaplı delikli alüminyum plakadan asma tavan yapılması-60x60cm ebadında	M2	390,60	7,92E+03	1,68E+04	1,01E-03	1,30E+02	6,11E+00	4,21E+01	2,10E-01	1,70E+05	
25											152101004:	Ocak taşı	M3	48,33	8,37E+02	8,99E+01	8,21E-06	5,02E-01	4,28E-02	2,06E-02	3,11E-04	7,73E+02	
26											155401256:	İki kat su bazlı mat boya yapılması	M2	5040,15	1,17E+04	1,90E+03	1,83E-04	1,08E+01	5,96E-01	6,66E+00	2,19E-02	3,09E+04	
27											153801056:	Seramik duvar karoları ile duvar kaplaması	M2	877,11	9,49E+03	1,41E+04	1,98E-03	3,66E+01	2,26E+00	2,33E+01	1,18E-01	2,26E+05	
28											153751052:	(30 x 30 cm) veya (33 x 33 cm) anma ebatlarında, seramik yer karoları ile döşeme kaplaması	M2	877,11	9,49E+03	1,41E+04	1,98E-03	3,66E+01	2,26E+00	2,33E+01	1,18E-01	2,26E+05	
29											154901002:	Laminat yer kaplaması ile döşeme kaplaması yapılması (süpürgelik dahil)	M2	378,80	7,37E+02	5,48E+02	3,45E-05	1,65E+00	7,97E-03	1,29E+00	1,15E-04	3,67E+03	
30											153901002:	Kuvarts ağırlı	M2	1452,00	4,85E+03	9,40E+03	3,11E-04	2,60E+01	1,03E+00	2,23E+01	2,12E-02	1,78E+05	
31											152501001:	200 kg çim	M2	2021,80	5,66E+03	8,17E+03	1,52E-04	3,27E+01	1,03E+00	2,23E+01	2,12E-02	1,78E+05	
32											153351601:	3 cm kalınlıkta	M2	1399,60	9,92E+03	1,19E+04	3,89E-04	2,57E+01	2,85E-01	1,73E+01	2,04E-02	8,00E+04	
33											152751101:	250/350 kç	M2	453,28	6,13E+03	5,17E+03	1,68E-04	7,10E+01	5,07E+00	6,36E+00	1,21E-02	1,60E+05	
34											153401004:	6 cm kalınlıkta taşıyıcı levhalar ile dış duvarlarda dıştan ısı yalıtımı	M2	1131,94	1,01E+04	2,40E+04	1,01E-03	8,15E+01	5,81E+00	7,30E+00	1,38E-02	1,84E+05	
35											155401325:	Brüt beton	M2	649,50	9,57E+03	2,75E+04	1,16E-03	1,43E+02	1,02E+01	1,28E+01	2,42E-02	3,22E+05	
36											152251004:	10 cm kalınlıkta	M2	910,38	1,60E+04	4,82E+04	2,03E-03	1,87E+02	1,73E+00	1,05E+02	5,09E-02	3,25E+05	
37											152251010:	20 cm kalınlıkta	M2	22,34	2,57E+04	1,61E+04	8,58E-04	8,77E+01	8,13E-01	4,92E+01	2,39E-02	1,53E+05	
38											152251012:	25 cm kalınlıkta	M2	791,12	5,12E+04	2,58E+05	1,19E-02	6,77E+02	5,22E+01	6,81E+01	2,18E-01	1,47E+06	
39											152251012:	25 cm kalınlıkta	M2	5730,06	5,95E+04	1,90E+03	9,89E-05	5,60E+01	1,06E+00	6,18E+00	8,46E-01	8,45E+04	
40											151501001:	Beton	M3	16,11	8,58E+02	1,04E-04	1,04E-04	6,19E+00	5,30E-01	5,27E+00	2,30E-03	1,03E+04	
41											152201001:	85 mm kal	M2	602,60	4,55E+03	9,41E+03	4,61E-05	1,83E+01	6,36E-01	3,87E+00	2,39E-03	7,63E+04	
42											154701419:	Pvc ve alü	M2	311,83	1,31E+04	7,70E+03	7,00E-04	2,45E+01	1,69E+00	1,32E+01	2,29E-02	9,59E+04	
43											154551001:	Plastik	KG	4474,40	1,27E+04	1,54E+04	6,74E-03	1,19E+02	5,41E+00	5,19E+01	4,87E-01	2,91E+05	
44											154601001:	Naturel	KG	1069,86	8,04E+03	1,56E+04	1,93E-03	1,19E+02	6,00E+00	5,01E+01	7,15E-01	1,64E+05	
45											153301007:	Eğimli çatı	M2	427,46	2,33E+03	5,49E+02	1,31E-04	2,66E+00	1,47E-01	1,27E+01	1,04E-02	1,51E+04	
46											153401403:	Çatı arası	M2	407,10	1,38E+03	2,01E+03	8,42E-05	1,13E+01	5,21E-01	4,63E+00	1,43E-03	7,58E+04	
47											153401403:	Çatı arası	M2	407,10	1,38E+03	2,01E+03	8,42E-05	1,13E+01	5,21E-01	4,63E+00	1,43E-03	7,58E+04	
48											153401403:	Çatı arası	M2	407,10	1,38E+03	2,01E+03	8,42E-05	1,13E+01	5,21E-01	4,63E+00	1,43E-03	7,58E+04	
49											153401403:	Çatı arası	M2	407,10	1,38E+03	2,01E+03	8,42E-05	1,13E+01	5,21E-01	4,63E+00	1,43E-03	7,58E+04	
50											153401403:	Çatı arası	M2	407,10	1,38E+03	2,01E+03	8,42E-05	1,13E+01	5,21E-01	4,63E+00	1,43E-03	7,58E+04	
51											153401403:	Çatı arası	M2	407,10	1,38E+03	2,01E+03	8,42E-05	1,13E+01	5,21E-01	4,63E+00	1,43E-03	7,58E+04	
52											153401403:	Çatı arası	M2	407,10	1,38E+03	2,01E+03	8,42E-05	1,13E+01	5,21E-01	4,63E+00	1,43E-03	7,58E+04	

Şekil 3.6 : Analizlerin yapıldığı elektronik tablo programı.

3.4 Yaşam Döngüsü Analizi

Yaşam döngüsü analizi, bu çalışma için yapının üretim-kurulum-kullanım aşamalarında yapı malzemesinin ve kullanım aşamasında doğalgazın çevresel etkilerinden ve maliyetinden oluşmaktadır. Bu çevresel etkiler yapı malzemeleri için; GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF temel çevresel etki kategorileri ile tanımlanmıştır. EPD belgeleri yardımıyla çevresel etki değerleri hesaplanan rayiç ve birim analizlerin projedeki kullanım miktarı ile çarpılarak toplanır. Denklem 3.4'te küresel ısınma için yapılacak olan hesaplama sunulmaktadır. Burada GWP indisi toplam küresel ısınma miktarını, n indisi iş kalemi miktarını, GWP_j indisi j'ninci aktivitenin küresel ısınma birim miktarının değerini ve m_j indisi ise j'ninci malzemenin kullanım yenileme sayısını temsil etmektedir. Diğer bütün çevresel performans göstergeleri de Denklem 3.4-6'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$GWP = \left[\sum_{j=1}^n (M_{j,k} * GWP_j) + \sum_{j=1}^n (E_{j,k} * GWP_j) \right] * m_j \quad (3.4)$$

$$ODP = \left[\sum_{j=1}^n (M_{j,k} * ODP_j) + \sum_{j=1}^n (E_{j,k} * ODP_j) \right] * m_j \quad (3.5)$$

$$AP = \left[\sum_{j=1}^n (M_{j,k} * AP_j) + \sum_{j=1}^n (E_{j,k} * AP_j) \right] * m_j \quad (3.6)$$

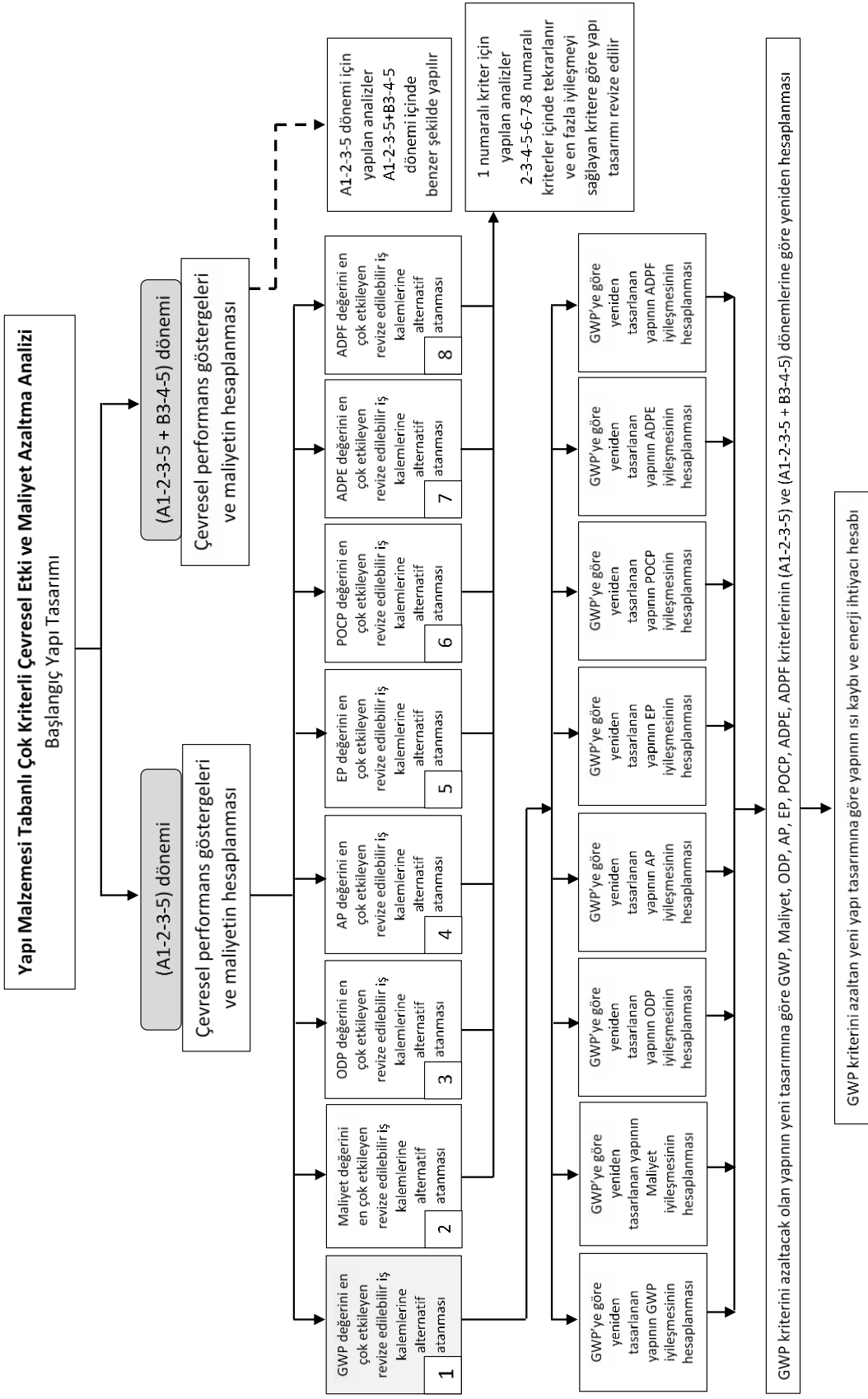
Çevresel etki ve maliyet analizleri yapının 'üretim ve kurulum' ve 'üretim, kurulum ve kullanım' yaşam dönemi için yapılmaktadır. Üretim ve kurulum dönemi (A1-2-3-5), yapıyı inşa etmek için gereken yapı malzemelerini ifade eder. Kullanım dönemi (B3-4-5 ve B6); yapıda kullanılan malzemelerin yenilenme, değiştirme ve onarım benzeri sebeplerle değişimini (B3-4-5) ve yapıda kullanım döneminde tüketilen enerjiyi (B6) temsil etmektedir. Yapının çevresel etkisinin azaltılması ve farklı yönlerle araştırılması için temel olarak 2 ayrı analiz yapılır.

3.4.1 Yapı malzemesi tabanlı çok kriterli çevresel etki ve maliyet azaltma analizi

Birinci analiz yapı malzemesi temelli bir yaklaşımdan oluşmaktadır ve işlem adımlarının akış şeması Şekil 3.7'de sunulmuştur. Yapının başlangıç durumundaki tasarımına göre yapının çevresel etkilerinin her birini ve maliyetini en çok etkileyen iş kalemleri büyükten küçüğe sıralanır. Çevresel performans göstergelerini ve maliyeti azaltmak için incelenen her kriterin revize edilebilir 5 iş kalemi belirlenir. Belirlenen iş kalemlerine ilgili hesap kriterinin etki değeri daha düşük olan alternatif yapım tarifleri atayarak her bir çevresel göstergeyi ve maliyeti azaltan yapı tasarımı oluşturulur. Binanın taşıyıcı sistemi betonarme olduğu için beton, donatı gibi iş kalemlerinin alternatifleri

olmadığından tasarımın revize edilmesi değiştirilebilir iş kalemleri dikkate alınarak yapılmıştır. Alternatif iş kalemlerinin atanması ile oluşan yeni tasarımın çevresel etkileri ve maliyeti tekrar hesaplanır. Bu sayede tasarımda en az revize yaparak çevresel etki değerlerinde en yüksek iyileşme sunan tasarım belirlenir. Bu analiz, A1-2-3-5 (üretim ve kurulum) ve A1-2-3-5+B3-4-5 (üretim, kurulum ve kullanım) yaşam döngüsü dönemlerinin ikisi için de ayrı ayrı yapılır.

GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF çevresel performans göstergeleridir. İlk dönem yani 'üretim ve kurulum' dönemi için her bir göstergelyi minimum yapan 7 tasarım oluşmaktadır. Ayrıca maliyeti de minimum yapan 1 tane tasarım ile toplamda 8 yeni tasarım oluşur. Her bir yeni tasarıma göre çevresel göstergeler ve maliyet her iki yaşam dönemi için hesaplanmaktadır. Örneğin maliyeti azaltmak için maliyeti en çok etkileyen değiştirilebilir ilk 5 iş kaleminin her birine alternatifler oluşturulur. Bu alternatifler arasından maliyeti en düşük olan iş kalemi seçilir. 5 iş kaleminin değiştirilmesiyle maliyeti azaltan yapı tasarımı oluşmaktadır. Bu yeni tasarımın çevresel gösterge değerleri ve maliyet değeri her iki yaşam dönemi için yeniden hesaplanır. Bunun sebebi, iş kalemlerine maliyeti azaltmak için atanan alternatiflerin maliyet dışındaki 7 kriteri nasıl etkilediğinin belirlenmesidir. Bu işlem adımlarının sonunda yapının 'üretim ve kurulum' dönemine göre yapılan yeni tasarımların her iki yaşam dönemi için yaşam döngüsü matrisi elde edilir. Bu sayede çevresel performans göstergeleri ve maliyetteki iyileşmeler gözlemlenmektedir. Buraya kadar anlatılan analizlerin hepsi ikinci dönem yani 'üretim, kurulum ve kullanım' yaşam dönemi için tekrarlanır. Bu işlem sonunda 16 ($=8*2$) yeni yapı tasarımı oluşmaktadır.



Şekil 3.7 : Yapı malzemesi tabanlı analizin akış şeması.

Hesaplamalara yapı malzemelerinin kullanım ömürleri dahil edilmiştir. Bunun sebebi yenilenen malzemenin çevresel etkisinin yapının gömülü çevresel hesabını etkilemesidir. Malzemelerin ömürleri hesaplamalara dahil olunca yapının çevresel etkilerinin her birini ve maliyetini en çok etkileyen iş kalemlerinin türleri değişebilmektedir. Bu sebeple en etkili malzemeler iki yaşam dönemi için hesaplanmıştır. Bunlardan birincisi yapıyı inşa etmek için kullanılan malzemelerin bir arada değerlendirildiği dönemdir ve bu yaşam döngüsünde A1-2-3-5 (üretim ve kurulum) dönemi ile ifade edilir. İkinci dönem yapıyı inşa etmek ve yenilemek için kullanılan malzemelerin bir arada değerlendirildiği dönemdir. Bu dönem başlangıç dönemini de kapsadığından A1-2-3-5+B3-4-5 (üretim, kurulum ve kullanım) yaşam döngüsü dönemini ifade etmektedir. Örneğin, yer kaplaması iş kaleminin bu iki dönemdeki etki yüzdesi aynı değildir. Birinci dönemde etki yüzdesi düşükken, malzemenin yenilenme süresi kısa olduğundan dolayı daha fazla yer kaplaması iş kalemine ihtiyaç duyulur ve bu nedenle ikinci dönemde etki yüzdesi daha yüksektir.

Tasarım revizeleri belirlendikten sonra yeni yapı tasarımlarının kullanım (B6) dönemi ısıtma enerjisi üzerindeki doğalgaz tüketim miktarı, bu tüketimden kaynaklanan maliyet, karbon ve enerji miktarı değişimi hesaplanır. Yapının başlangıç modeli ile birlikte 17 tasarım için bu analiz TSE 825' de bulunan hesaplama yöntemi ve detaylar referans alınarak yapılmıştır.

Bu analizde cevap aranan sorular:

- ‘Yapının çevresel ve mali etkisini azaltmada yapının tasarım döneminde hangi yaşam dönemi ve hesap kriteri en iyi sonucu vermektedir?’,
- ‘Yapı malzemelerinin çevresel ve mali performansı daha iyi olan malzemeler ile değişimi yapının çevresel etkisini nasıl etkiler?’,
- ‘Çevresel etkiyi azaltmak için yapılan malzeme değişiminin doğalgaz tüketimine etkisi nedir?’,
- ‘Yapıların kullanım döneminde, tekrarlı kullanıma sahip yapı malzemelerinin maliyet ve çevresel kriterler üzerindeki etkisi nedir?’

3.4.2 Yapı kabuk türü tabanlı çevresel etki ve maliyet azaltma analizi

Yapının çevresel etkisinin azaltılması için yapılan ikinci analiz yapı kabuğu temelli yaklaşıma sahiptir. Yapının enerji tüketiminde etkili olan kabuğunu oluşturan yapı malzemelerinin tür ve kalınlık değişiminin yapı malzemesi ve doğalgazdan kaynaklanan

maliyet-karbon-enerji üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapıların duvar türü, cam, doğrama, çatı yalıtım türü, zemin yalıtım türü ve kalınlıkları değiştirilerek analiz yapılmıştır. Bu değişim malzemelerin yalıtımını etkileyen kalınlık ve ısı iletkenlik gibi kriterlerini kötüden iyiye iyileştirmeye dayanmaktadır. Duvar türünün tuğladan gaz betona çevrilmesi veya kalınlığının artırılması iyileşmeye örnek olarak verilebilir. Bu analiz sayesinde yapıda fazladan yapılacak ek yalıtım yatırımının karbon, enerji ve maliyet ilişkisi ortaya çıkmaktadır. Analizde karşılaştırma kriteri olarak enerji-karbon-maliyet kullanılmıştır. Bunun sebebi her bir kabuk alternatifinin çevresel etkilerini yapı malzemesi ve yapının kullanımı boyunca gerçekleşen doğalgaz tüketimini dikkate alarak kıyaslanmasını sağlamaktır. Analiz sonunda elde edilen veriler yapının inşaat ve kullanım dönemlerinin karbon, enerji ve maliyet verileridir. Bu hesaplama yatırım odaklı olduğundan dolayı yapı malzemelerinin faydalı ömürleri dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Ayrıca analizler 4 derece-gün bölgesi için de tekrar edilerek farklı hava koşullarına sahip bölgelerde yatırım ile diğer kriterlerin ilişkisi belirlenerek kabul edilebilir yatırım alternatifleri tespit edilmiştir. Buradaki araştırma sorusu ‘İlave her kaç \$ yatırım için ne kadar MJ enerji ve ne kadar kg karbon iyileşir?’ olarak ifade edilebilir.

Her iki yapı türü için benzer yöntemle alternatif üretilir. Bu alternatiflerin her biri için inşaat aşamasında ve yenilemede kullanılan yapı malzemeleri ile kullanım dönemi boyunca ısıtma amaçlı harcanan doğalgazın karbon ve enerji değeri hesaplanır. Bunun dışında alternatiflerin maliyet hesabı 2 adımda yapılır. Bunlar:

1. Yapı malzemelerinden kaynaklanan maliyet,

- Yapının ilk üretimini temsil eden üretim-kurulum döneminde kullanılan yapı malzemelerinin maliyeti (A1-2-3-5),
- Yapının kullanım aşamasında yapı malzemelerinin değişiminin maliyeti (B3-4-5),

2. Yapının kullanımı boyunca doğalgaz tüketiminden kaynaklanan maliyet (B6).

Birinci adım malzemelerin maliyetleri toplanarak elde edilir. İkincisinde ise maliyeti hesaplarken paranın zaman değeri dikkate alınır. Bir yatırımcı gelir getiren bir yatırım gerçekleştirip kazanç sağladığı durumda belirli miktardaki varlığının değerini arttırmış olur. Bu yatırımcı mevcut sermayesinin n dönem sonraki ya da önceki eşdeğerini hesaplamak istediğinde mevcut kazanma oranını kullanacaktır. Mevcut zaman dilimi ile gelecekteki veya geçmişteki zaman dilimleri arasında geçiş yapabilmek için paranın zaman içerisinde sahip

olduğu kazanç sağlama fırsat oranını kullanır (Bettemir, 2017). Yapı ömrünün 50 yıl olduğu varsayılmış ve bazı yapı malzemeleri bu süre içinde yenilenmiştir. Sunulan kabuk alternatiflerinde yenileme yapılacak olan yapı malzemeleri varsa hesaplamalarda paranın bugünkü değerinin kullanılması gerekir. Bu duruma örnek mantolama verilebilir. Yapının ilk üretim aşamasında 1 defa ve 25 yıl sonunda yenileme için 1 defa daha mantolama yapılır. 25 yıl sonra kullanılacak malzemelerin maliyeti de değişiklik göstereceğinden yapı malzemesinin net bugünkü değerini (NBD) hesaplarken paranın zaman değerini sunan denklemlerden yararlanılmıştır. Maliyet hesabı ABD doları döviz cinsinden yapıldığı için paranın zaman değeri hesaplanırken ABD doları için risk içermeyen piyasa faiz oranı kullanılmıştır. Risk içermeyen yatırım olarak FED (Federal Reserve: merkez bankaları sistemi) faiz oranı kullanılmış ve yapı malzemelerinin maliyetleri konut enflasyonu verilerinden yararlanılarak güncel değerleri hesaplanmıştır. Böylelikle birinci adımın ikinci parametresi hesaplanmış olur.

İkinci adımda alternatiflere göre kullanım miktarı değişen doğalgazın maliyetinin bugünkü değerinin hesaplanmasıdır. Birinci adımda anlatıldığı gibi bu adımda paranın bugünkü değeri hesaplanacaktır.

Çalışmada karbon ve enerji hesaplanırken yapı malzemesi ve doğalgazdan kaynaklanan değerler toplanarak yatırım değerlendirmesi birlikte yapılır. Her bir alternatifi oluşturan yapı malzemeleri ve doğalgaz tüketimi için bu hesaplama yapılır. Hesaplamalarda kullanılan eşitlikler Denklem 3.7-8-9'da verilmiştir (Bettemir, 2017):

Tek ödemeli güncel değer faktörü: Gelecekteki bir zaman için değeri bilinen paranın bugünkü değerini hesaplamak için kullanılır. 'P' paranın bugünkü değeri, 'n' yıllık periyot sayısı, 'F' paranın gelecekteki değeri ve 'i' faiz oranıdır.

$$P = F * \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (3.7)$$

Eşit seri ödemeli güncel değer faktörü: Düzenli yapılan ödemelerin bugünkü eş değerini hesaplamak için kullanılır. 'A' yıllık yapılan ödemeyi temsil eder.

$$P = A * \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \right] \quad (3.8)$$

Geometrik gradyan seriler faktörü (g'): Yıllık ödemelerin belirli bir yüzde ile artıp eksilmesi durumunda nüfus artışı, ekonomik büyüme ve enflasyon etkisinin analizlerde gösterilmesi için kullanılır. Bağlı değişim oranı g' ile ifade edilir.

$$g' = \left[\frac{(1+i)}{(1+g)} \right] - 1 \quad (3.9)$$

Çizelge 3.7 karbon-enerji-maliyet hesap tablosunu temsil etmektedir. Çizelgenin ilk satırı sütun numaralarını gösterir. Birinci sütun yapı için belirlenen farklı kabuk elemanlarından oluşan alternatifin numarasını verir. İki ve üçüncü sütunlar malzeme ve doğalgazdan kaynaklanan karbon ve enerjinin miktarını verir. 4-5-6 numaralı sütunlar her bir alternatifin içinde bulunan tek kullanıma ya da tekrarlı kullanıma sahip malzemelerin maliyeti ile doğalgaz maliyetini verir. Bu maliyetlerin net bugünkü değeri (NBD) 7. sütunda hesaplanmıştır. Sıralı alternatifleri ardışık biçimde eşleştirerek pahalı olan alternatifin ucuz olana göre ne kadar maddi fayda sağladığı Eşitlik 3.10'da sunulan formül ile hesaplanmaktadır. 8 ve 9 numaralı sütunlarda ardışık iki alternatifin EE-EC farklarını temsil eder.

Bu çalışma için kullanılan FED faizi (i_f) 5,25% (Url-2: Investing), konut enflasyonu (f_k) 4,30% (Url-3: European statistics) ve doğalgaz artış oranı (f_d) 4,81% (Url-4: U.S. Energy Information Administration) kabul edilmiştir.

$$N1 = NBD = [X2 - X1] + \left[\frac{(Y2-Y1)}{N_k} \right] + \left[\frac{\left(\frac{Y2-Y1}{N_k} \right)}{(1+i_f)^k} * (1 + f_k)^k \right] + \left[(Z2 - Z1) * \frac{\left(\frac{(1+g')^{n-1}}{i*(1+g')^n} \right)}{(1+f_d)} \right] \quad (3.10)$$

“ N_k ” yapı malzemesinin üretim aşaması dahil yapının bütün ömründe kaç defa yenilendiğini, “ k ” yapı malzemesinin faydalı ömrünün kaç yıl olduğunu, “ g ” doğalgazın geometrik gradyan seriler faktörünü, “ n ” yapının kullanım ömrünü temsil eder. X_n , n 'nci alternatifin değişmeyen yapı malzemelerinin maliyeti, Y_n , n 'nci alternatifin değişen yapı malzemelerinin maliyeti, Z_n , n 'nci alternatifin doğalgaz maliyetini belirtmektedir.

Çizelge 3.7 : Maliyet-EE-EC ilişkisinin temsili gösterimi.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Alt.	Toplam EE	Toplam EC	Değişmeyen malzemelerin maliyeti	Değişen malzemelerin maliyeti	Doğalgaz maliyeti	Net bugünkü değer	EE değişimi	EC değişimi
Alt-1	EE1	EC1	X1	Y1	Z1	-	-	-
Alt-2	EE2	EC2	X2	Y2	Z2	N1	EE2-EE1	EC2-EC1
Alt-3	EE3	EC3	X3	Y3	Z3	N2	EE3-EE2	EC3-EC2
-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alt-n	EE _n	EC _n	X _n	Y _n	Z _n	N _n	EE _n -EE _(n-1)	EC _n -EC _(n-1)

Eşitlik 3.10 yardımı ile Çizelge 3.7'de 7. sütunda temsil edilen NBD değerleri her bir yatırım alternatifi için hesaplanarak EE ve EC değişimi ile değerlendirilir.

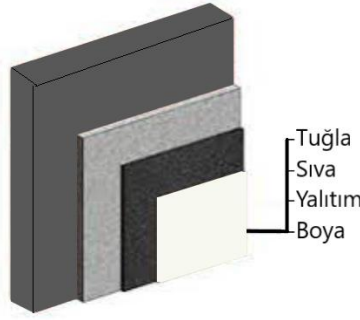
3.5 Yapıların Isı Kaybı ve Enerji İhtiyacı Hesaplama Yöntemi

Yapı malzeme tercihleri, yapının lokasyonu, pencere alanı gibi seçenekler yapının ısı kaybını etkiler. Bunun yanı sıra yapıda ısınma için kullanılan enerji kaynakları da hem çevresel etkiler açısından hem de maliyet açısından önem teşkil etmektedir. Çalışmanın bu bölümünde ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplama yöntemi sunulmaktadır. Hesaplama yöntemi aşağıda belirtilen standartlarda yapılacaktır. Bu noktada hesaplama konu yapı tasarımının Bölüm 3.4'te bahsedilen analizler sonucunda ortaya çıktığını belirtmek gerekir. Yapı malzemesi temelli analiz için gereken enerji ihtiyacı hesabı (Bkz: Şekil 3.7) her bir yapı için 16 adettir. Yapı kabuğu temelli analizde ise konut için 20 ve derslik için 19 adettir. Hesaplamalar TSE 825- Binalarda Isı Yalıtım Kuralları yönetmeliğine göre yapılmıştır (TSE 825).

TSE 825 standardı, binalarda net ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplama kurallarını ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi değerlerini belirlemede kullanılır. Çalışmada ısı kaybı hesaplamaları TSE 825- Binalarda Isı Yalıtım Kuralları yönetmeliğine göre yapılmıştır. Hesap metodunda ısıtılan ortamın sınırları, bu ortamı dış ortamdan ve eğer varsa ısıtılmayan ortamlardan ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencereden oluşur. Hesaplamalarda dıştan dışa ölçüler kullanılır. Binanın tamamının aynı sıcaklığa kadar ısıtılması (tek hacimli) hesap metodu izlenmiştir (TSE 825).

Çalışmada, yapıların kullanım döneminde (B6) 50 yıllık ömrü boyunca ihtiyaç duyacağı enerji miktarı belirlenmiştir. Bu hesaplamalar için TSE 825'te tarif edilen formüller, hesap yöntemleri ve tablolar kullanılmıştır.

Isı kaybı ve enerji ihtiyacı hesabında öncelikle temel verilerin bulunması ile başlanır. Bu veriler yapının kabuk elemanlarının alanı, toplam alan, bina kullanım alanı ($0,32 \times$ bina brüt hacmi), yapının hacmi, dış kapı alanı, yapının kabuğundaki saydam yüzeylerin yönlere göre alanıdır. Bina ısı kaybına neden olan yapı elemanları tavan, taban, duvarlar, betonarme yüzeyler, pencereler ve dış kapıdır. Her bir yapı elemanının alanı ve onu oluşturan katmanları tanımlanır.



Şekil 3.8 : Duvar katmanları.

Şekil 3.8’de örnek bir duvar katmanı çizimi sunulmaktadır. Bu duvarın katmanları; R_i , duvar türü, sıva, yalıtım, boya ve $R_d = R_e$ katmanlarından oluşmaktadır. R_i ve R_e : iç ve dış yüzey ısı iletim direncini temsil eden ısı taşınım katsayısıdır. Bu şekilde, bütün yapının farklı kesitlere sahip kabuk elemanları belirlenir. Her bir elemanı oluşturan yapı malzemesinin kalınlığı, ısı iletkenlik değeri ısı kaybı hesabı için belirlenir.

Maddelerin iki yüzey arasındaki birim sıcaklık farkında, birim yüzeyin geçirdiği ısı akışı o malzemenin ısı iletkenlik katsayısı olarak ifade edilir ve λ ile gösterilir. Birimi W/mK ’dir. Tercih edilen malzemelerin λ değeri ısı iletkenlik katsayıları TSE 825 Ek E’den alınmıştır. R ısı iletkenlik direnci, yapı elemanı kalınlığının, ısı iletkenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilir. R ısı iletkenlik direnci Eşitlik 3.11’de ifade edildiği gibi hesaplanır (TSE 825). Isıl geçirgenlik direnci, yapı elemanındaki malzemenin kalınlığına ve ısı iletkenlik hesap değerine bağlıdır.

$$R = \frac{d}{\lambda_h} \quad (3.11)$$

Katmanları, kalınlıkları ve malzeme türleri belirlenen dış cephe elemanlarının ısı geçirgenlik dirençleri hesaplanır. Isıl geçirgenlik direnci tek tabakalı (Eşitlik 3.11) ve çok tabakalı (Eşitlik 3.12) yapı bileşenlerine göre farklı hesap işlemine sahiptir (TSE 825).

$$R (m^2K/W) = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (3.12)$$

Toplam ısıl geçirgenlik direnci ($1/U = R$) Eşitlik 3.12’de hesaplanan R direncine, yüzeyel ısı iletim direnç değerleri eklenmesi ile hesaplanır ve tersi ısı geçirgenlik katsayısını verir (Eşitlik 3.13). Yüzeyel ısı iletim değerlerine TSE 825-Çizelge 1’den ulaşılabilir.

$$U (W/m^2K) = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (3.13)$$

Farklı kabuk kesitlerinin her birinin alan değeri ‘U’ değeri ile çarpılarak yapının taşınım (iletim) yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesaplanır. Havalandırma yoluyla ısı kaybı Eşitlik 3.14’e göre yapılır. Bu değer havalandırılan hacim miktarına ve hava değişim oranına bağlıdır. Hava değişim oranı yani havalandırma sayısı n_h , doğal havalandırma yapılan binalarda ‘0,8’ olarak alınır.

$$H_v = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \quad (3.14)$$

İki ısı kayıp türü de hesaplandıktan sonra toplanarak yapının toplam (iletim ve havalandırma yoluyla) ısı kaybı hesaplanır.

Yapının ısı kaybı hesabından sonra yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanır. Hesaplamanın temeli ısı kayıpları ve kazançlarının farklarına göre ısıtma için gereken enerjinin miktarını belirlemektir. Hesaplamaların detayları ilgili yönetmelikte verilmektedir. Isı kaybı hesabı, TSE 825’te EK B.1’de verilen ‘yapı türüne göre ortalama iç sıcaklık değeri (θ_i -K°C)’ ve EK B.2’de verilen ‘derece-gün bölgelerine göre ortalama aylık dış sıcaklık değeri (θ_e -K°C)’ verilerinin farkının alınmasıyla belirlenir. İç sıcaklık değerinden dış sıcaklık değerinin çıkartılmasıyla elde edilen değerlerde sıfırın altında kalan değerler için ‘sıfır’ sayısı kabul edilerek sadece ısıtma için gereken enerji hesaplanmaktadır. Son adımında özgül ısı kaybı ile aylık sıcaklık farklarının çarpılması ile aylık ısı kayıpları (W) hesaplanır (Eşitlik 3.15).

$$Isı kaybı (W) = H \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (3.15)$$

Yapı içindeki insan faaliyetleri ve güneş ışıması sonucu ısı kazançları oluşur. Isı kazançları, aylık ortalama iç kazançlar ($\phi_{i,ay}$) ve aylık ortalama güneş enerjisi kazançlarından ($\phi_{s,ay}$) oluşmaktadır. İnsanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları, sıcak sudan, yemek pişirmeden, aydınlatmadan ve elektrikli ev aletlerinden kaynaklanan kazançlar aylık ortalama iç kazançların kapsamındadır. Eşitlik 3.16, normal yapılar ve okullarda birim kullanım alanı başına iç kazançları temsil etmektedir.

$$\phi_{i,ay} (W) \leq 5 \cdot A_n \quad (3.16)$$

Doğrudan güneş enerjisinin katkısının hesaplaması ile pasif enerji hariç güneşten elde edilen kazançlar TSE 825-Çizelge 5’te sunulan gölgelenme faktörü kullanılarak hesaplanır. Bu hesaplamada coğrafi yönler temel alınır. Aylık gölgelenme faktörü ($r_{i,ay}$), saydam elemanların güneş enerjisini iletme katsayısı ($g_{i,ay}$), birim alan başına düşen aylık güneşin ışıyım şiddeti ($I_{i,ay}$) ve her bir yöndeki toplam pencere alanı (A_i) hesaplamalarda

kullanılır. Kullanılan çizelge, denklem ve katsayılar TSE 825'ten ulaşılabilir (Eşitlik 3.17). Hesaplama cam ile ilgili enerji cam, çift cam, doğrama türü ya da camlar arasındaki boşluk gibi yapısal detaylar dikkate alınır. Güneş enerjisi ve iç enerji kazançlarının toplanması ile yapıdaki toplam ısı kazancı hesaplaması tamamlanır.

$$\phi_{s,ay} (W) = \sum r_{i,ay} \cdot g_{i,ay} \cdot I_{i,ay} \cdot A_i \quad (3.17)$$

Bir sonraki aşamada kazanç kayıp oranı (KKO) hesaplanır. KKO, ısı kazancının ısı kaybına oranı ile hesaplanır (Eşitlik 3.18) ve kazanç kullanım faktörü (η_{ay}) hesabında kullanılır (Eşitlik 3.19). Bu faktörün kullanım amacı yapının ısı kazançlarını kullanmak için bir yararlanma faktörü elde etmektir. Yönetmeliğe göre KKO değerinin 2,5 ve üzeri olduğu aylarda ısı kaybı olmadığı kabul edilir.

$$KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H \cdot (\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) \quad (3.18)$$

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (3.19)$$

$$Q_{ay} (kj) = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \quad (3.20)$$

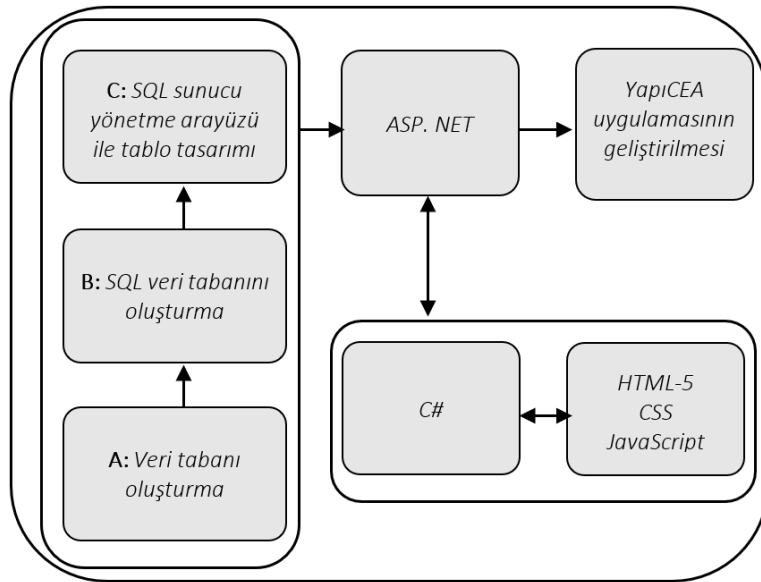
Yapının her bir ay için ısıtma enerjisi ihtiyacı Eşitlik 3.20'de verilen formül yardımıyla hesaplanır. Her bir ay için bu işlemler tekrar edilerek toplanır ve yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenir.

Yıllık ısıtma enerji ihtiyacı tespit edilen yapı için gerekli yakıt miktarı hesaplanır. Doğalgaz ısıtma türü için birim enerji, yapıda kullanım için gereken miktarı, yakıtın maliyeti ve karbon emisyonu analiz edilir. Çalışmada 1 m³ doğalgaz 10,64 kWh'a eşit kabul edilmiştir. Ayrıca analizlerin yapıldığı yıl için doğalgazın maliyeti 0,256 \$/m³ alınmıştır. 1 ton CO₂'nin 5 ağaç eşdeğeri olduğu kabul edilmiştir (Url-5).

3.6 Yapıların Çevresel Etkisini ve Maliyetini Hesaplamak için Geliştirilen Araç

İnşaat sektörü, teknoloji seviyesinde gelişimini henüz tamamlayamamıştır. Bunun sebebi çok paydaşlı olmasının yanı sıra projeler ve bunlarda kullanılan yapı malzemelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca inşaat için herhangi bir uygulama, teknoloji veya makine geliştirebilmek için veri önemli bir problemdir. Yapım işlerinin doğası gereği her proje eşsizdir. Bu durum yapım işleri için veri toplamayı zorlaştırmaktadır. Bu sebeple diğer sektörlere göre teknoloji entegrasyonu daha yavaş ilerlemektedir.

Tez çalışmasında yapıların çevresel etkilerini ve maliyetini analiz etmek amaçlanmıştır. Hesaplamalar için geliştirilen algoritma programlanmış ve bu çalışmada hazırlanan veri tabanı ile eşleştirilerek bir uygulama geliştirilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen uygulamanın temel işleyişi sunulacaktır. Uygulama ismi ‘YapıCEA’dır (Yapı Çevresel Etki Analizi Uygulaması). Önceki bölümlerde veri çalışma ile ilgili detaylar sunulmuştur. YapıCEA uygulaması için hazırlanan veri tabanı da Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2022/3 (01.07.2022 tarihli) rayiç ve birim fiyat analizleri ile sınırlandırılmıştır. Uygulama; işçilik, makine gibi kalemlerin birim fiyatını kullanarak maliyet analizini gerçekleştirmektedir. Fakat çalışmanın veri analizi kısmında anlatıldığı gibi bu kalemlerin çevresel etkileri hesaplanmamaktadır. Veri tabanında her bir poz numarasının maliyet ve çevresel etki verileri bulunmaktadır. Uygulamanın çalışma mantığı: poz numaraları ile ilgili iş kaleminin sorgulanması ve yapıda kullanılacak olan malzemeler listesine eklenerek toplanması işlemidir. Tüm yapı malzemelerinin eklenmesinin ardından analiz sonucundan yapının maliyet, çevresel etki ve emisyon ticaret sistemindeki değeri hesaplanarak verilmektedir. Geliştirilen uygulama sayesinde daha önce bütüncül bir şekilde ölçülemeyen yapıım işlerinin (tanımlanan kısıtlar altında) çevresel etkileri hesaplanabilmektedir. YapıCEA uygulaması web tabanlı bir uygulamadır. Uygulama ASP.NET ile geliştirilmiştir ve oluşum şeması Şekil 3.9’da sunulmaktadır.



Şekil 3.9 : YapıCEA uygulamasının oluşum şeması.

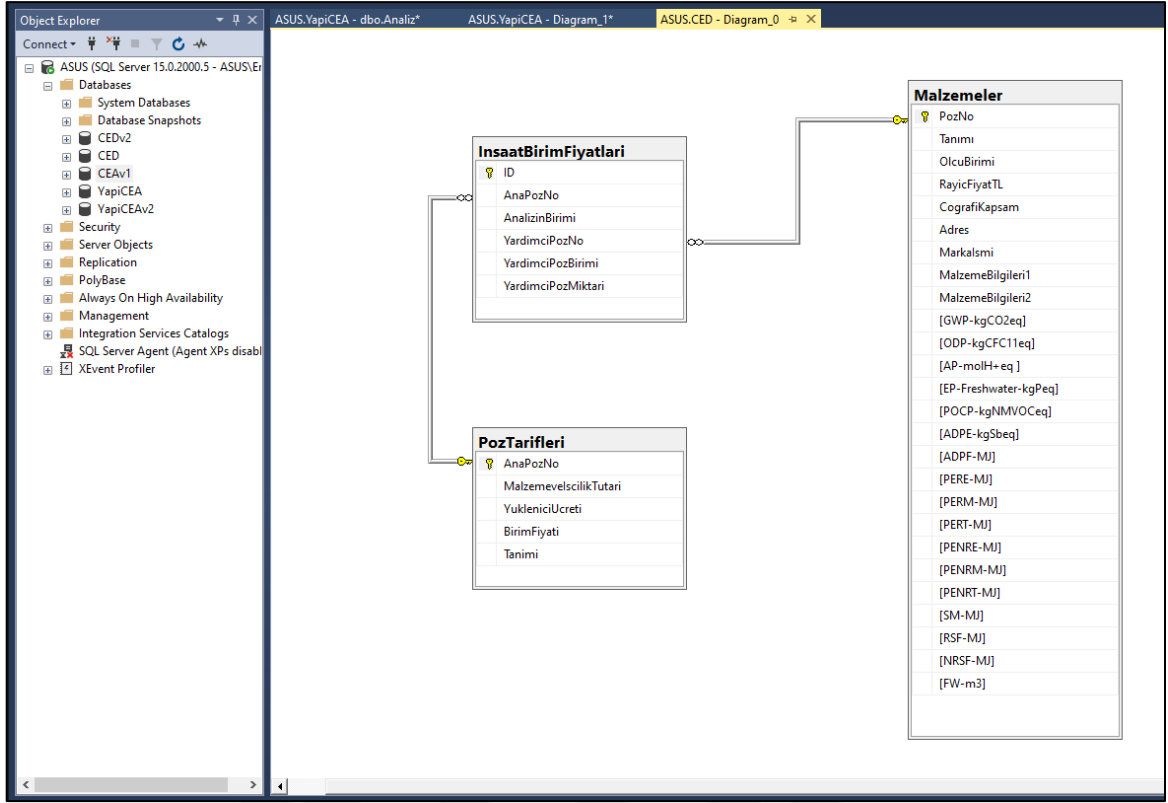
Analizin A aşaması Bölüm 3.2.1’de anlatılan EPD belgelerinden çevresel etki verilerinin elde edilerek poz numaralarına atanmasını temsil etmektedir. B aşamasında poz numaralarına atanan veriler SQL veri tabanına eklenmektedir. Şekil 3.10’da SQL veri

tabanına aktarılan verilerin örneği sunulmuştur. Veriler poz numarası, pozun tanımı, ölçü birimi, coğrafi kapsam, EPD belgesinin referans adresi ve hesap kriterlerinden oluşmaktadır.

Poz No	Tanım	Ölçü Birimi	Coğrafi Kapsam	Adres	Birim Fiyat (B)	GWP/kg CO2 eq	ODP/kg CFC11 eq	AP-Mod H+ eq	EP fresh water/kg F eq	POCP/kg NMVOC eq	ADPE/kg Sb eq	ADPF-MJ	PEF
919	101702001 ODUN LİFİNDEN YAPILMIŞ LEVHALAR-Ölçü 3.0 mm	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	0.95544871	0.00306	2.436E-07	0.00747	9.69E-05	0.0069	1.854E-05	29.76	3.7
920	101702002 ODUN LİFİNDEN YAPILMIŞ LEVHALAR-Ölçü 4 mm	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	1.0740923	0.00048	3.248E-07	0.00996	0.0001292	0.00992	2.472E-05	39.58	5
921	101702003 ODUN LİFİNDEN YAPILMIŞ LEVHALAR-Ölçü 5 mm	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	1.373495127	0.0106	4.06E-07	0.01245	0.0001615	0.01115	3.09E-05	49.6	6.2
922	101702004 ODUN LİFİNDEN YAPILMIŞ LEVHALAR-Tavanlık, d...	Ad	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	0.328444487	0.0010176	3.897E-08	0.0011952	1.5504E-05	0.0010704	2.964E-06	4.7616	0.6
923	101702005 ODUN LİFİNDEN YAPILMIŞ LEVHALAR-Tavanlık, d...	Ad	Australia	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	0.47777436	-0.2298	1.116E-12	0.00159628	7.9002E-05	0.00099372	7.02E-08	3.9	1.7
924	101702006 ODUN LİFİNDEN YAPILMIŞ LEVHALAR-Tavanlık, d...	Ad	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	0.447878846	0.0020352	7.7952E-08	0.0022904	3.1008E-05	0.0021408	5.9323E-06	9.5232	1.2
925	101702007 ODUN LİFİNDEN YAPILMIŞ LEVHALAR-Tavanlık, d...	Ad	Australia	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	0.56688974	-0.4596	2.232E-12	0.00311256	0.000198004	0.00188744	1.404E-07	7.9	3.4
926	101702008 ODUN LİFİNDEN YAPILMIŞ LEVHALAR-Köşerlik, 4...	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	0.47777436	0.00048	3.248E-07	0.00996	0.0001292	0.00992	2.472E-05	39.58	5
927	101702009 ODUN LİFİNDEN YAPILMIŞ LEVHALAR-Ödün 16 le...	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	0.656888974	0.026924	1.03124E-06	0.031623	0.00041021	0.029321	7.8486E-05	125.984	15
928	101702101 YONGA LEVHALAR-4 mm kalınlıkta	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	1.10476782	0.668	1.1E-07	0.0048	0.00024	0.00322	1.964E-06	11.24	48
929	101702102 YONGA LEVHALAR-6 mm kalınlıkta	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	1.46307896	1.002	1.68E-07	0.0072	0.00036	0.00483	2.948E-06	16.86	73
930	101702103 YONGA LEVHALAR-8 mm kalınlıkta	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	1.672081024	1.336	2.2E-07	0.0096	0.00048	0.00644	3.508E-06	22.48	97
931	101702104 YONGA LEVHALAR-10 mm kalınlıkta	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	1.91098742	1.87	2.75E-07	0.012	0.0006	0.00805	4.91E-06	28.1	122
932	101702105 YONGA LEVHALAR-13 mm kalınlıkta	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	2.14981846	2.171	3.575E-07	0.0156	0.00078	0.010465	6.305E-06	36.53	158
933	101702106 YONGA LEVHALAR-16 mm kalınlıkta	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	2.388827178	2.572	4.4E-07	0.0192	0.00096	0.01288	7.856E-06	44.96	194
934	101702107 YONGA LEVHALAR-19 mm kalınlıkta	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	2.657414485	3.173	5.225E-07	0.0228	0.00114	0.015295	9.329E-06	53.39	231
935	101702108 YONGA LEVHALAR-22 mm kalınlıkta	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	2.89626203	3.674	6.05E-07	0.0264	0.00132	0.01771	1.0802E-05	61.82	261
936	101702109 YONGA LEVHALAR-25 mm kalınlıkta	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	3.10523331	4.175	6.875E-07	0.03	0.0015	0.020125	1.2275E-05	70.25	303
937	101702110 YONGA LEVHALAR-30 mm kalınlıkta	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	3.762162369	5.01	8.25E-07	0.036	0.0018	0.02415	1.473E-05	84.3	366
938	101702111 YONGA LEVHALAR-35 mm kalınlıkta enine kesitler	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	4.77732455	5.845	9.625E-07	0.042	0.0021	0.03175	1.7185E-05	98.35	427
939	101702112 YONGA LEVHALAR-38 mm kalınlıkta enine kesitler	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	5.255111791	6.346	1.045E-06	0.0456	0.00228	0.03059	1.958E-05	106.78	464
940	101702201 SENTETİK REÇİNE ESASLI YONGA LEVHALAR-8...	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	2.508121536	1.72	2.752E-07	0.01232	0.000616	0.007888	5.344E-06	29.04	101
941	101702202 SENTETİK REÇİNE ESASLI YONGA LEVHALAR-18...	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	4.180202561	3.87	6.192E-07	0.02772	0.001386	0.017748	1.2024E-05	65.34	222
942	101702203 SENTETİK REÇİNE ESASLI YONGA LEVHALAR-30...	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	7.046827174	6.45	1.032E-06	0.0462	0.00231	0.02958	2.004E-05	108.9	380
943	101702301 Mineral katkı PVC kompozit levhalar (TS 13893) (Ya...	m²	Europe	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	16.72081024	16.37253333	1.1768E-06	0.085607627	0.00273504	0.018905467	6.4923E-05	360.05	17
944	101702302 Mineral katkı PVC kompozit levhalar (TS 13893) (Ya...	m²	Europe	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	19.1098742	24.598	1.7652E-06	0.1284144	0.00410266	0.0283592	9.7902E-05	540.08	26
945	101702303 Mineral katkı PVC kompozit levhalar (TS 13893) (Ya...	m²	Europe	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	20.0025511	32.74506667	2.3360E-06	0.171215253	0.00547008	0.037810933	0.000129056	720.10	35
946	101702304 Mineral katkı PVC kompozit levhalar (TS 13893) (Ya...	m²	Europe	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	22.9911408	40.93133333	2.942E-06	0.214019067	0.0068376	0.04726367	0.00016232	900.13	44
947	101702305 Mineral katkı PVC kompozit levhalar (TS 13893) (Ya...	m²	Europe	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	26.57414485	49.1176	3.504E-06	0.25682288	0.00820512	0.0567164	0.000194784	1080.16	52
948	101702307 Mineral katkı PVC kompozit levhalar (TS 13893) (Ya...	m²	Europe	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	33.74020638	65.49013333	4.702E-06	0.342430507	0.01094016	0.075621867	0.000259712	1440.2	70
949	101702308 Mineral katkı PVC kompozit levhalar (TS 13893) (Ya...	m²	Europe	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	39.41320843	73.6764	5.2956E-06	0.38523432	0.01230768	0.0850746	0.000292176	1620.24	79
950	101702401 17 MİMLİK YONGA LEVHA ÜZERİNE KİMYASAL S...	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	22.8925819	3.655	5.848E-07	0.02618	0.001309	0.016762	1.1594E-05	61.71	211
951	101702402 17 MİMLİK YONGA LEVHA ÜZERİNE KİMYASAL S...	m²	Global	https://api.envirodec.com/api/v1/EPDLibrary/Files...	31.95203331	3.655	5.848E-07	0.02618	0.001309	0.016762	1.1594E-05	61.71	211
952	101702451 Standart lennet levhalar 0.5 mm kalınlığında	m²	Germany	https://data.ecadatabase.com/data/ecadatabase/process...	4.060768202	2.318333333	1.0059E-09	0.010615367	0.000461175	0.002197	3.92167E-06	57.528	11
953	101702452 Standart lennet levhalar 1.00 mm kalınlığında	m²	Germany	https://data.ecadatabase.com/data/ecadatabase/process...	4.777373555	3.566666667	1.57E-09	0.016331333	0.0007095	0.00388	6.03333E-06	88.5	17
954	10170190101 Gırtlaklar, malı, üstünlükler, lennetler, lennetler (1.00 mm k...	m²	Germany	https://data.ecadatabase.com/data/ecadatabase/process...	4.47878848	3.110155555	1.0394E-09	0.016331333	0.000461176	0.002197	3.92167E-06	67.436	11

Şekil 3.10 : SQL veri tabanına eklenen veriler.

Veri tabanını oluşturan varlıklar iş kalemlerini temsil etmektedir. Her bir iş kalemi poz numarası ile tanımlanmıştır. Poz numaraları veri setinin kimliği görevini görmektedir. Birincil anahtar, SQL dilinde tablonun tamamında benzersiz olan kavramı ifade etmektedir. Bu sebeple veri setinde birincil anahtar poz numaraları olarak atanmıştır. Her bir rayiç poz numarasına malzemenin maliyet ve çevresel etki verilerinin yanı sıra pozun ismi, birimi, EPD belgesinin adresi, EPD belgesi kullanılan malzemenin markası gibi bilgiler veri olarak girilmiştir. Birim fiyat analizi poz numaralarında ise marka ismi ya da adresi gibi bilgiler yoktur. Bunun sebebi analizin rayiç verilerinden oluşmasıdır. Fakat fiyat ve çevresel etki verileri tüm pozlarda vardır. Şekil 3.11’de uygulama çalıştığında veriler arasındaki etkileşim diyagramı verilmektedir. Uygulama çalıştığında bir başka ifadeyle sorgu yapıldığında eğer rayiç pozu sorgulanırsa doğrudan sonuç ekrana gelmektedir. Fakat birim analizin sorgu mantığı farklıdır. Birim analiz pozu sorgulandığında önce sorgulanırsa poza bağlı rayiç pozlar sorgulanır. Daha sonra rayiç pozlar birim sarfiyat miktarları ile çarpılarak toplanır ve tek bir veri şeklinde kullanıcı ekranına getirilir. Bunun için SQL veri tabanının ilişkisel veri tabanı özelliğinden yararlanılır.



Şekil 3.11 : YapiCEA uygulamasının ilişkisel veri tabanı diyagramı.

Analizin C aşaması veri tabanına aktarılan verilerin sütun isimleri ve veri türü gibi SQL tablo tasarım özelliklerinin oluşturulduğu Şekil 3.12’de verilen SQL sunucu yönetim arayüzünü göstermektedir. Varlıklara ait öznitelik verileri, veri tabanı tablolarındaki satır ve sütunlarda saklanır. Bu saklanan verilerin tamsayı, rasyonel sayı, metin gibi türlerde olmasına göre veri tipleri atanır. Bu atama tamamlanmadan veri üzerinden işlem yapılmaz. Örneğin metin içeren poz numarasının tanımı ya da coğrafi kapsam gibi veriler metin verileri için kullanılan ‘nvarchar(225)’ veri türü ile tanımlanmaktadır. Poz numaraları tamsayıdan oluştuğundan ‘int’ ve çevresel etki kriterleri ondalık sayılardan oluşabileceğinden ‘float’ veri türleri seçilmektedir.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
PozNo	int	☐
Tanımı	nvarchar(255)	☒
OlcuBirimi	nvarchar(255)	☒
RayicFiyatTL	float	☒
CografikKapsam	nvarchar(255)	☒
Adres	nvarchar(255)	☒
Markalsmi	nvarchar(255)	☒
MalzemeBilgileri1	nvarchar(255)	☒
MalzemeBilgileri2	nvarchar(255)	☒
[GWP-kgCO2eq]	float	☒
[ODP-kgCFC11eq]	float	☒
[AP-molH+eq]	float	☒
[EP-Freshwater-kgPeq]	float	☒
[POCP-kgNMVOCeq]	float	☒
[ADPE-kgSbeq]	float	☒
[ADPF-MJ]	float	☒
[PERE-MJ]	float	☒
[PERM-MJ]	float	☒
[PERT-MJ]	float	☒
[PENRE-MJ]	float	☒
[PENRM-MJ]	float	☒
[PENRT-MJ]	float	☒
[SM-MJ]	float	☒
[RSF-MJ]	float	☒
[NRSF-MJ]	float	☒
[FW-m3]	float	☒
		☐

Şekil 3.12 : SQL tablo özniteliklerinin oluşturulması.

Analizlerde kullanılacak olan verilerin veri tabanı hazırlandıktan sonra bu verileri kullanarak analiz yapmak için bir program oluşturulur. Oluşturulan programın görsel arayüzü HTML, CSS ve JavaScript dillerinden faydalanılarak yazılmıştır. Veri tabanı bağlantısı ve veri filtreleme için C# kullanılmıştır. HTML; web sayfasını oluşturmak, analizde yer alan tabloları ve konumlarını belirlemek için kullanılmıştır. Kısaca uygulamanın görsel arayüzü HTML ile oluşturulmuştur. CSS ise uygulama ekranına gelen tablo, yazı, renk, veri, resim gibi argümanların biçimsel formunu belirlemede kullanılır. C# dili uygulamanın fonksiyonunu çalıştıran yani analizi yapan komutlar için kullanılmaktadır. C# ile veri tabanı bağlantısı yapılarak veriler listelenir. Daha sonra bu listeler JavaScript ile uygulama ara yüzünde belirlenen dizaynda görüntülenir. Uygulama ara yüzündeki tabloda görüntülenmesi gereken satır sayısı, her bir sütundaki verilerin büyük-küçük sıralaması ve poz numarası sorgulama işlemleri de JavaScript dili ile yapılmıştır. Bulunan pozu kullanılan yapı malzemeleri listesine ekleme işlemini C# dili yapar. Ayrıca poz numaralarının birim miktarına göre temel veriler ile çarpıp tüm malzemelerini analiz ederek sonuç veren algoritma da C# ile hazırlanmıştır.

4. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Veri analizi; problemleri değerlendirme, karar verme sürecine katkı sağlama, problemlerin nedenini belirleme, veri yapılarını karşılaştırma gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde yaşam döngüsü analizinde kullanılan verileri değerlendirme için yapılan hesaplamalar verilmektedir. Analizlerde benzer yapı malzemeleri için kullanılan EPD belgelerinin ICE veri tabanındaki değerlerden ve farklı EPD belgelerindeki verilerden sapma miktarı belirlenecektir. Bu sayede veri değişkenliğinin etkisi ölçülecektir.

4.1 ICE, EPD Veri Kaynaklarının Karşılaştırması

Yapı malzemelerinin çevresel etkisini değerlendirmede kullanılan mevcut kaynaklardan ikisi EPD belgeleri ve ICE veri tabanıdır. Belirtilen iki veri kaynağında aynı malzeme cinsi için farklı değerler sunulabilmektedir. Bu bölümde çalışmada veri kaynağı olarak kullanılan EPD belgelerinin hem ICE veri tabanı ile hem de farklı EPD belgelerindeki verilerle karşılaştırılması sunulmaktadır.

Gömülü enerji ve gömülü karbon katsayıları derlenen belgelerde genel olarak farklılıklara sahiptir. Bu farklılığın çeşitli nedenleri vardır. Hesaplamalarda, sınır koşullarındaki ve genel varsayımlardaki metodolojik farklılıklar doğal varyasyonun yaygın bir nedenidir. Çelik endüstrisinde birincil çeliğin imalatı bir yan ürün olan yüksek fırın cürufunu oluşturur. Yüksek fırın cürufu kullanım değeri olan bir ürün olarak kabul edilir ve bu nedenle çelik üretim sürecinden kaynaklanan çevresel etkilerin bir kısmını alması gerektiği sıklıkla tartışılır. Bu etkiyi paylaşırma prosedürüne tahsis adı verilir. Çevresel etkiler; kütle bazında, ekonomik temelde, hacimsel temelde, sistem genişletme veya başka herhangi bir makul metodoloji yoluyla dağıtılabilir. Bununla birlikte, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde görülen farklılaşmaların temel nedenlerinden biri burada yatmaktadır. Çevresel etki kitlesel olarak dağıtılsaydı, sonuçlar ekonomik dağıtımdan farklılaşarak çalışmaların ortak bir temelde karşılaştırılmasını zorlaştırabilirdi. Çelik ürünlerinin yüksek gömülü enerji ve gömülü karbon miktarı ile karşılaştırıldığında yüksek fırın cürufunun etkisi daha azdır. Bazı çalışmalar yüksek fırın cürufunu atık ürün olarak değerlendirmekte ve bu nedenle ona sıfır gömülü enerji değeri atamaktadır. Ancak çelik açısından bu sonuçların etkisinin düşük olması diğer sektörler için önemsiz olduğu anlamına gelmemektedir. Yüksek fırın cürufu çoğunlukla çimento ve beton sektöründe katkı maddesi

olarak kullanılmaktadır. Bu sektörlerde çevre kriterleri üzerinde daha belirgin bir etkiye sahiptir. Bununla birlikte yüksek fırın cürufunun yol agregası olarak kullanımı da mevcuttur. Bu durumda beklenen çevresel fayda beton örneğinden daha düşük olacaktır. Yüksek fırın cürufu gibi katkıların etkisi betonun gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde değişikliğin önemli bir sebebidir. Çimento ise bu değerleri etkileyen en önemli malzemedir. Bu sebeple farklı özellikteki betonların verileri de farklılık göstermektedir. Hesaplama yönteminden kaynaklanan belirsizlikler, üretim bandı farklılığından kaynaklanan farklı miktardaki enerji gereksinimleri, yakıt türü ve yanma verimi kriterleri de beton üretiminde farklılıklara sebep olmaktadır (Hammond, 2008).

Gömülü karbon analizinde hesap kriterlerinden bazılarının itinalı biçimde ayırt edilmesi gerekmektedir. Bunlardan biri yakıtla ilgili olmayan karbondur. Gömülü karbon analizinde fosil yakıtların yanması ile elde edilen karbon hesaplanır. Ancak ahşap ve çimento gibi malzemelerde karbon, yakıtın dışında salınım ya da emilim ile sisteme dahildir. Ahşap ürünler üretim ve kullanım dönemlerinden kaynaklanan karbondan daha fazlasını yapılarında taşımaktadır. Ahşap ürünlerde fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar gömülü karbon hesabına dahil edilerek karbon kredisi belirlenir. Bu kabul ağaç popülasyonundaki tüketim ve yenilenme arasındaki denge durumunda uygundur. Ağacın yenilenebilir bir kaynak olması ona sürdürülebilir özelliği vermemektedir. Bundan dolayı, ağaç ürünleri için karbon hesabı yenilenme ve tüketim oranına bağlıdır.

Bu bölümde EPD-EPD ve EPD-ICE verilerinin karşılaştırmalarının işlem adımları sunulmaktadır. Analizler, karşılaştırma göstergesi olarak ICE ve EPD veri tabanının her ikisinde de ortak bulunan EE (gömülü enerji)-EC (gömülü karbon) kriterleri için yapılmıştır. Çalışma kapsamında ilk derlenen EPD belgelerinde karşılaştırma yapabilmek için ICE veri tabanındaki ikincil kaynak kullanımı, yakıt türü gibi kriterler dikkate alınmıştır. Yapı malzemelerine öncelikle yerel üreticilerden elde edilen EPD belgelerinden derlenen veriler atanmıştır. EPD belgelerindeki çevresel gösterge sonuçlarını temsil eden referans birimler malzemelere özgüdür. Örneğin, demir kg-ton ile karo m² ile temsil edilebilir. Karşılaştırma yapabilmek için yapı malzemelerine atanan EPD belgesindeki EE-EC değerleri kg birimine göre hesaplanır. ICE veri tabanında bulunan malzemeler kg birimi ile referans edilmektedir. ICE veri tabanında karşılığı bulunmayan malzemeler analizin dışında tutulmuştur. Ayrıca yarı mamul bir malzemenin ICE veri tabanında tam olarak karşılığı olmayabilir. Örnek olarak bir çelik profilin ICE’de karşılığı ekstrüde çeliktir. Profilin detay durumu, geri dönüştürülmüş malzeme içeriği gibi kriterlerden dolayı ICE verisi tam olarak karşılık

olamamaktadır. EPD belgesi için de benzer durum mümkündür. Çelik profil için sunulan EPD belgeleri, profilin delikli, deliksiz, T, U, galvanize gibi özellikleri dikkate alınarak hazırlanmamaktadır. Genellikle kg ya da ton birimlerinde hammadde ve üretim türüne göre (soğuk/sıcak haddeli) sınıflandırılmaktadır. ICE’de geri dönüştürülmüş hammadde kullanımına ve genel üretim ayrımlarına (extrüde ya da levha çelik gibi) göre veri sunulmaktadır. Belirtilen sebepler veri değerleri arasında farklılıklara neden olur. Bu farklılıklara rağmen imalat tanımlamaları standarttır. Örneğin çelik profil EPD’sinin ICE’de karşılığı extrüde çeliktir veya bütün agrega boyutları için ayrı ayrı hazırlanmış bir EPD belgesi ICE’de kum veya agregaya denk gelmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, derlenen bütün EPD belgelerinin ICE veri tabanından sapma miktarı, elde edilen veriler ile belirlenmiştir. Malzemeler için farklı belgelerden elde edilen EE-EC ortalamaları da hesaplanmıştır.

Yapı malzemelerinin çevresel etkisini hesaplamak çok fazla belirsizlik içermektedir. Bu belirsizliğin analiz sonuçlarına etkisinin gözlemlenmesi için EPD belgeleri kendi içinde karşılaştırılmıştır. Bunun için her yapı malzemesine kullanılan YDA yazılımı, coğrafi kapsam veya kaynak durumu gözetilmeksizin birden fazla EPD belgesi derlenmiştir. Bu derleme işlemi belirtilen sınırlar çerçevesinde bu bölümde anlatıldığı gibi yapılmaktadır. EPD-EPD karşılaştırmasında bir malzeme için birden fazla EPD belgesi derlenerek örnek yapının analiz sonuçları üzerindeki dalgalanmaları gözlemlenmektedir. Atanan EPD belgesi sayısı her bir malzeme için farklılık göstermektedir. Bu durumun en önemli sebepleri aynı yapı malzemesi için temin edilen EPD belgelerinin farklı bölgelerden olması ve/veya farklı üreticilerin ve/veya farklı imalat yönteminin ve/veya enerji kaynağının kullanılmış olmasıdır.

EPD belgelerini değerlendirmek için bunlardan elde edilen verilerin metraj verileriyle eşleştirilmesi gerekmektedir. EPD belgeleri doğrudan yapı malzemesine atanabilen verilerden oluşmaktadır. Analizi yapılacak iki yapının metraj bilgileri, iş tarifleri türünden sunulmuştur. Bundan dolayı kıyaslama yapmadan önce birim analizler rayiç malzeme miktarlarına dönüştürülmüştür. Örneğin 1 m² duvar karosu ve zemin karosu yapma işinin tarifinde 1,1 m² karo ve 2 kg çimento bazlı harç vardır. Analizlerde EPD verileri doğrudan birim analiz miktarı ile eşleştirilirse 0,1 m² karo ve 2 kg harcın farklı EPD değerlerinin etkileri belirlenemeyecektir. Bundan dolayı rayiç pozlar hesaplanarak EPD belgelerinin analizi bu yöntemle sağlanacaktır.

Çalışmanın bu bölümünde, iki örnek yapının farklı EPD belgeleri ile toplam EE ve EC değerleri belirlenerek farklı EPD belgelerinin yapının toplam EE ve EC değeri üzerindeki etkisi ile yapının EE ve EC değerlerinin değişkenliği Monte Carlo analizi yardımı ile belirlenmiştir. Analiz, her bir toplam değer hesabında yapı malzemesine atanan EPD belgelerinden birini rastgele seçerek tekrarlanmaktadır. Farklı EPD belgeleri arasındaki EE-EC değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir. Bir yapı malzemesine birden çok EPD belgesi atanırken, bu belgelerin birbirinden farklı coğrafi kapsamlara sahip olması amaçlanmıştır. Malzemeler üzerindeki bahsedilen değişkenliğin etkisinin gözlemlenmesi ile yaşam döngüsü analizinde farklı EPD belgelerinin kullanımının etkisi araştırılmıştır.

4.2 Monte Carlo Analizi

Girdi parametrelerinin içerdiği hata ve belirsizliğin modellenmesi kısmi türev denklemlerinin hesaplanmasını gerektiren hata yayılma kanunu ile yapılabileceği gibi simülasyon tabanlı olan Monte Carlo analizi ile de gerçekleştirilebilmektedir (Bettemir, 2011). Monte Carlo analizi, girdi parametrelerindeki belirsizliklerin çıktı parametreleri üzerindeki etkisini istatistiksel olarak modelleme esasına dayanan yöntemdir. Monte Carlo analizi 5 adımdan oluşmaktadır (Sağlam ve Bettemir, 2018).

İlk adımda belirsizlik içeren girdi parametreleri, girdi parametrelerinin belirsizliğinin olasılık dağılımı ve dağılım aralığı belirlenir. Belirsizlik dağılımına sahip girdi parametreleri x_i ile gösterilir ve ilk adımda her x_i için olasılık dağılımı atanır. İkinci adımda aralıklardan ve atanan dağılımlardan örnekler oluşturulur. Bu adımın sonunda her örnek için n adet rastgele sayı üretilerek m adet örnek oluşturulur (Bettemir, 2006).

$$x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}], \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1’de n girdi parametrelerinin sayısı, m ise örneklem büyüklüğüdür. Doğru örnek sayısının seçilmesi önemlidir. Örnek sayısının küçük olması veri setinde yer alabilecek aykırı değerlerin etkisinin yüksek olmasına neden olarak belirsizliğin hatalı ölçülebilmesine neden olabilmektedir. Örnek sayısının aşırı büyük olması ise bilgisayarda fazla bellek ve hesap yükü gerektirecektir (Bettemir, 2009). Girdi parametrelerinin olasılık dağılımına göre rastgele sayıların üretilmesiyle ikinci adım tamamlanır.

Üçüncü adımda girdi parametrelerini temsil eden rastgele oluşturulmuş sayılar rastgele biçimde birbiriyle eşleştirilerek gerçek koşulları temsil eden m adet uygulanabilir

durum oluşturulur. Sonucu temsil eden parametrelerin rastgele eşleşen girdi parametreleriyle hesaplanması Eşitlik 4.2’de gösterilmektedir.

$$y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) = f(x_i) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.2)$$

Temelde bu model, değerlerin belirsizliklerini analiz etmek için girdi parametreleri için bir haritalama yapar. $j = 1, 2, \dots, n$ giriş parametreleri her bir x_{ij} için eşleştirilir ve m tane giriş simülasyon modeli her bir giriş parametresi için olasılık dağılımlarına göre rastgele üretilen sayılar ile oluşturulur. Oluşturulan modeller normal dağılım kullanılarak çıktının belirsizliğini tahmin etmek için kullanılır (Bettemir, 2020).

Dördüncü adımda ortaya çıkan veri setinin y_i değerlerinin ortalamaları ortalamaları Eşitlik 4.3’te sunulduğu gibi elde edilir.

$$E(y) = \sum_{i=1}^m \frac{y_i}{m} \quad (4.3)$$

Beşinci adımda y_i değerlerinin standart sapma ve giriş parametreleriyle korelasyonu Eşitlik 4.4’te ifade edilen denklemle hesaplanır.

$$V(y) = \sum_{i=1}^m \frac{[y_i - E(y)]^2}{m-1} \quad (4.4)$$

Hesaplanan ortalama ve standart sapma değerlerinden normal bir dağılım eğrisi oluşturulur. Çalışmada analiz sonuçları arasındaki farkların önemi bağımlı t-testi aracılığıyla gerçekleştirilir (Bettemir ve Birgonul, 2023). Karşılaştırma Denklem 4.5 ile hesaplanan t değeri ile yapılır (Mendenhall ve Sincich, 2014).

$$t = \frac{\sum D_i}{\sqrt{\frac{n(\sum D_i^2) - (\sum D_i)^2}{(n-1)}}} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5’te n , karşılaştırılan örnek olay problemlerinin sayısı temsil etmektedir. Bu çalışmada karşılaştırma çift yönlü ve %95 anlamlı aralık için yapılmıştır. Hipotez testi için serbestlik derecesi 120’nin üzerinde olduğu için bu değere karşılık gelen eşik değeri 1,960 olarak belirlenmiştir.

5. ANALİZ EDİLEN YAPILARIN BİLGİLERİ

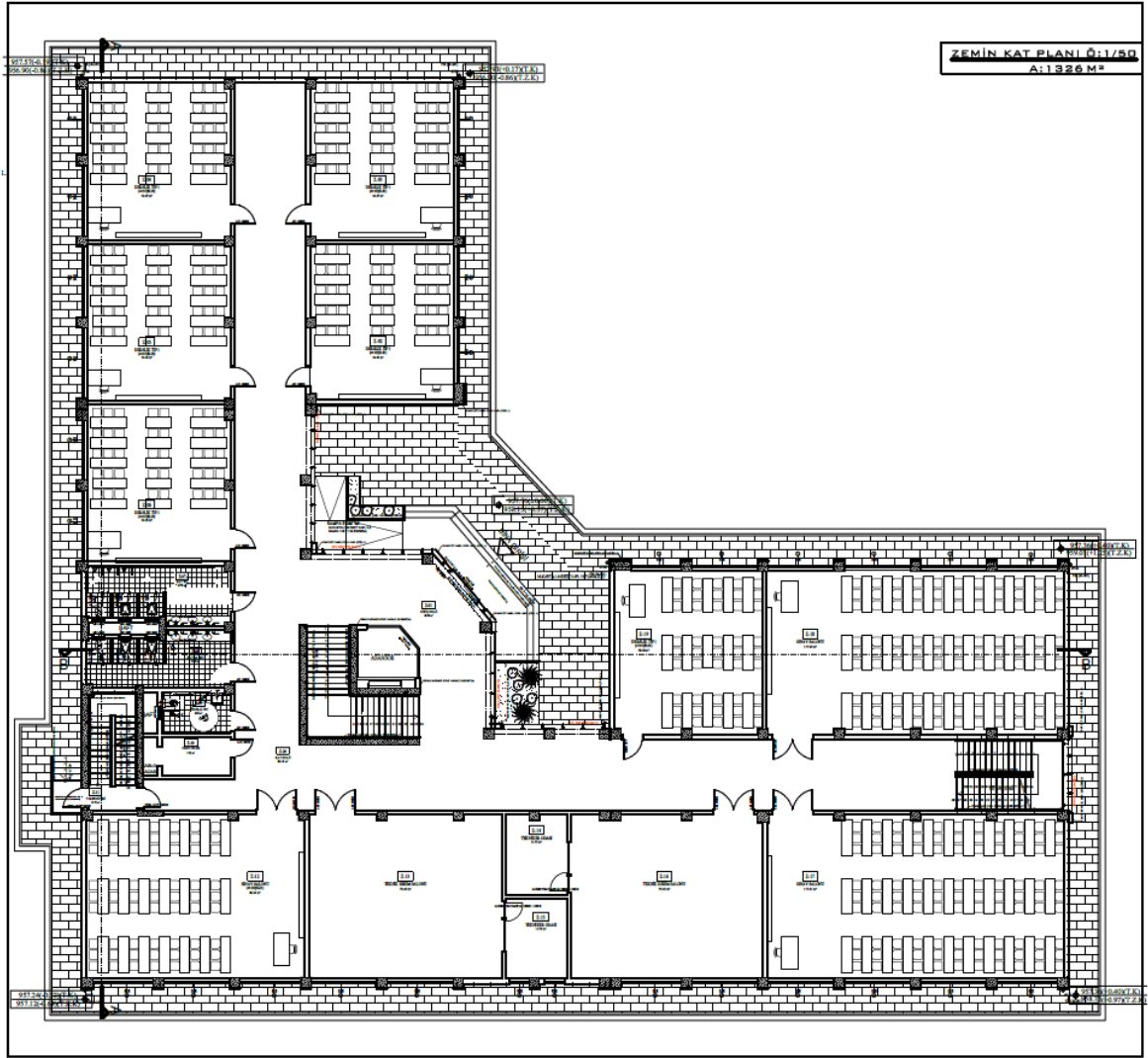
Çalışmanın bu bölümünde analizlerde kullanılacak olan örnek yapıların bilgileri sunulmaktadır. Yaşam döngüsü analizi bu tez kapsamında iki yapı için gerçekleştirilmiştir. Bu yapılardan biri İnönü Üniversitesi OSB Meslek Yüksek Okulu Derslik bloğu, diğeri ise geleneksel bir apartman yapısıdır. Çalışmada yapıların çevresel etki hesabı için malzeme miktarı, ısı ihtiyacı hesabı için yapıları oluşturan kabuk elemanlarının türleri ve kalınlıkları gereklidir. Bu bölümde yapıların alan, proje ve metraj miktarı bilgileri sunulmuştur. Ayrıca, analizlerde iş kalemlerinin (metrajların) uzun isimlendirmeleri yerine kullanılacak olan sıra numarası ve poz numarası notasyonu belirtilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde tablo ve grafiklerde malzemelerin ‘sıra no’ ya da ‘poz no’ları ile anlatım yapılacaktır. Yapıları oluşturan dış cephe elemanlarının türleri ve hesap detayları anlamsal bağlamda bütünlük oluşturmaları için Bölüm 6.2.2’de verilmiştir.

5.1 Derslik Yapısı

Malatya OSB Meslek Yüksekokulu, 12 bin m² kapalı, toplamda 30800 m² alana sahiptir. Yüksekokul; atölye bloğu, derslik bloğu, idari blok ve sosyal hizmetler bloğu olmak üzere 4 bloktan oluşmaktadır (Şekil 5.1). Şekil 5.2’de kat planı sunulan Derslik yapısı 4296,98 m² alana sahiptir. Yapının plan ve kesitleri **Ek C**’de verilmiştir. Yapının kullanım ömrü 50 yıl kabul edilmiştir.



Şekil 5.1 : Malatya OSB Meslek Yüksekokulu blokları.



Şekil 5.2 : Derslik yapısı zemin kat planı.

İlgili kurumdan proje ve binanın iş kalemlerinin metraj cetveli temin edilmiştir. Temin edilen metraj listesindeki poz numaraları projenin yapım yılından dolayı güncel değildir. Tez kapsamında yapılan analizlerde bakanlığın 2022/3 (01.07.2022 tarihli) birim fiyatları temel alındığından dolayı öncelikle metraj listesindeki pozlar güncellenmiştir. **Ek E**'de derslik binasının metraj listesi, projenin yapım senesindeki poz numarası, güncellenmiş poz numaraları ve malzemelerin faydalı ömrü verilmiştir. Çizelge 5.1'de ise bu parametreleri açıklamak için Derslik binasının verilerinin bir kısmı sunulmaktadır.

Çizelge 5.1'de Derslik yapısı poz listesi, pozların miktarları, pozların tanımı ve faydalı ömürlerinin bir örneği verilmiştir. Derslik yapısının metraj değerleri ilgili kurumdan alındığında dolayı, metraj listesi yapının inşa edildiği yılın poz numaralarını temsil etmektedir. Eski poz numaraları güncellenerek hesaplamalar yapılmıştır. Farklı bakanlıklardan alınan poz numaraları için CSB'de benzer analiz varsa yerine kabul

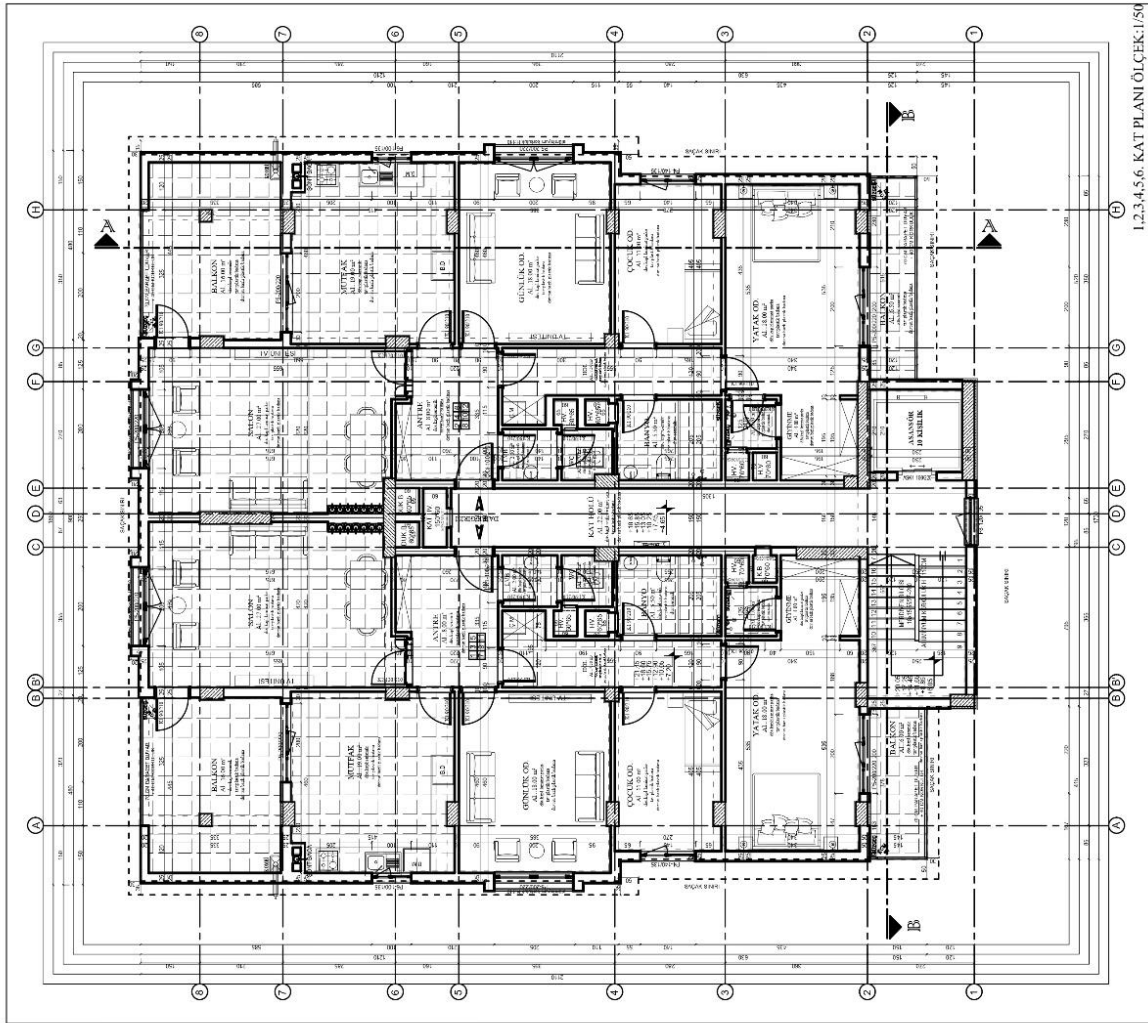
edilmiştir. Benzer poz yoksa eski birim fiyat analizlerinin güncellenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu düzeltmelerin dışında ‘Kapaklı sistem alüminyum giydirme cephe kaplama yapılması’ gibi özel tarifi olan kalemlere temsili poz numaraları atanmıştır. Poz numaraları anahtar öznelik olduğu için analizi yapılacak her malzemesinin poz numarasının olması önemlidir. Bunun gibi özel tarifi olan toplamda 3 adet malzeme kalemi vardır ve bunlara poz numaraları verilerek belirlenen numaralara çevresel etkiler atanmıştır. Örneğin, ‘Kapaklı sistem alüminyum giydirme cephe kaplama yapılması’ için gereken malzemeleri temsil eden doğrudan bir EPD belgesi vardır fakat poz numarası yoktur. Öncelikle bu iş tarifine bir poz numarası belirlenmiş ve bu poz numarasına çevresel etki ve maliyet verileri atanmıştır. Bu sayede poz numaraları arasında arama yapılabilecektir. Bu şekilde yeni bir poz numarası oluşturulan 3 iş kalemi vardır. Bunlar sırasıyla; alüminyum cephe kaplama (poz no: 111111111), halı kaplama (poz no: 111111112) ve demir yangın kapısıdır (poz no: 111111113) (1,23x2,18 m). Makine, elektrik gibi kaba/ince yapı malzemeleri dışındaki kalemler analizin kapsamı dışında kalmaktadır.

Çizelge 5.1 : Derslik yapısı metraj listesi ve poz numaraları.

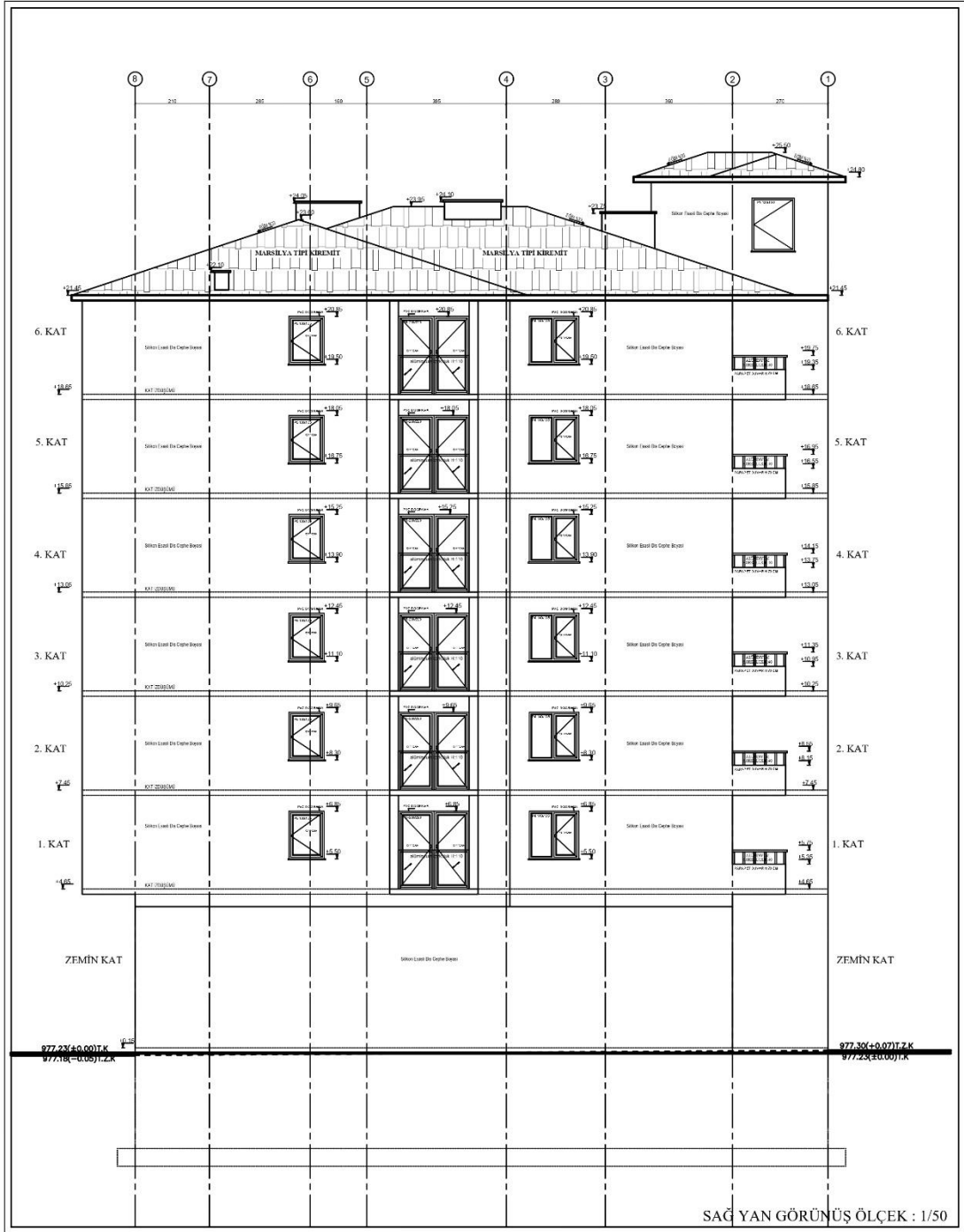
Sıra No	Poz No	Güncel poz no	Tanımı	Birimi	Miktarı	Faydalı Ömür
1	18.140/D1	15.530.1137	12.5 mm tek kat suya ve yangına day.alçı duvar levh. ile çift isk.askı sist. asma tavan yapılması	m ²	924,13	50
2	23.243/20	15.535.1026	60*60 cm ebadında 0.70 mm kalınlığında min.20 mikron elektrostatik toz boyalı (polyester esaslı) delikli alüminyum plakadan (en aw 3000 serisi) gizli taşıyıcı sistem asma tavan yapılması	m ²	2387,52	50
3	23.243/23A	15.535.1031	30*30 cm ebadında 0.70 mm kalınlığında min.20 mikron elektrostatik toz boyalı (polyester esaslı) delikli alüminyum plakadan (en aw 3000 serisi) gizli taşıyıcı sistem asma tavan yapılması	m ²	130,32	50
4	24.061	15.315.1002	Ø 100 mm çapında bir ucu muflu sert PVC yağmur borusu temini ve yerine tespiti	mt	111,2	30
5	27.525/A2		Kireçli kaba sıva ve üzerine alçı sıva yapılması (sönmüş kireç torbalı)	m ²	6485,739	50
6	27.528/3	15.280.1011	Çıplak beton, ince sıva, alçı sıvalı vb. Yüzeylere saten alçı kaplama yapılması	m ²	7437,169	50
7	A.04	15.465.1004	Gömme silindiri iç ve dış kapı kilidinin yerine takılması (geniş ve dar tip)	ad	50	50
8	A.08	15.465.1008	Kapı kolu ve aynalarının yerine takılması	ad	50	50
9	A.10	15.465.1010	Menteşenin yerine takılması	ad	183	50
10	ANALİZ-1	15.390.1008	60 x 120 cm anma ebatlarında, rektifiyeli, her türü renk, desen ve yüzey özelliğinde, ı. kalite, mat, sırsız porselen karo ile 1 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)	m ²	3369,79	30
11	ANALİZ-2	15.420.1002	4 cm kalınlığında mucartalı andezit levha ile döşeme kaplaması yapılması (30cmx60 cm)	m2	423,050	50
13	ANALİZ-4	15.460.1005	Isı yalıtımsız kumlu mat elektrostatik toz boyalı alüminyum doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması	kg	785,600	40
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
91	Y.27.581	15.250.1001	200 kg çimento dozlu tesviye tabakası yapılması	m ²	3467,85	50
92	Y.28.645/C02	15.470.1010	PVC ve alüminyum doğramaya profil ile 4+4 mm kalınlıkta 12 mm ara boşluklu çift camlı pencere ünitesi takılması	m ²	21,44	30
93	Y.28.645/C47	15.470.1419	PVC ve alüminyum doğramaya profil ile 4+4 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluklu ilk camı güneş ve ısı kontrol kaplamalı çift camlı pencere ünitesi takılması	m ²	453,36	30

5.2 Konut Yapısı

2 adet dükkân, 12 adet daire, sığınak ve müştemilat bölümlerinden oluşan yapı 2800 m² alana sahiptir. Bodrum, zemin ve 6 kattan oluşan yapının plan ve kesitleri **Ek F**'de verilmiştir. Şekil 5.3'te kat planı ve Şekil 5.4'te yan görünüşü sunulan yapının ömrü 50 yıl kabul edilmiştir.



Şekil 5.3 : Konut yapısı normal kat planı.



Şekil 5.4 : Konut yapısı yan görünüş.

Çıkmalı bir tasarıma sahip Konut yapısı betonarme karkas sistemden oluşmaktadır. Zemin kat ticari kullanım amacıyla duvarsız doğramadan oluşan bir tasarıma sahiptir. Normal katlarda duvarlar için gazbeton, doğrama için PVC, ıslak hacimler fayans ve diğer mahaller laminant kaplamadan yapılmıştır. Ek bir mantolama yapılmaksızın sadece çatı arası döşeme üstü xps yalıtımına sahiptir.

Projenin metraj listesi, metrajların poz ve sıra numaraları Çizelge 5.2’de sunulmuştur.

Çizelge 5.2 : Konut yapısı metraj listesi ve poz numaraları.

Sıra no	Poz	Tanım	Birim	Miktar	Faydalı ömür
1	152751102	200/250 kg kireç/çimento karışımı kaba ve ince harçla sıva yapılması (iç cephe sıvası)	m ²	444,80	50
2	152751105	350 kg çimento dozlu harçla tek kat kaba sıva yapılması	m ²	1328,83	50
3	191002423	0.200 m ³ /150 kg kireç-çimento karışımı kaba harç yapılması (sönmüş kireç torbalı)	m ³	115,92	50
4	191002433	Perlitli alçı harcı hazırlanması	m ³	50,40	50
5	152801011	Saten alçı kaplaması yapılması (ortalama 1 mm kalınlık)	m ²	6804,80	50
6	152751103	250/350 kg kireç/çimento karışımı kaba ve ince harçla sıva yapılması (tavan sıvası)	m ²	634,35	50
7	152801012	Makina alçısı ile tavanlara 15 mm kalınlığında tek kat alçı sıva yapılması.	m ²	1764,65	50
8	155351027	60x60 cm ebadında 0,70 mm kalınlığında minimum 20 mikron elektrostatik toz boyalı (polyester esaslı) arka yüzü akustik kumaş kaplı delikli alüminyum plakadan gizli taşıyıcı sistem asma tavan yapılması	m ²	390,60	50
9	155401256	Saten alçılı ve alçı panel yüzeylere astar uygulanarak iki kat su bazlı mat boya yapılması (iç cephe)	m ²	2251,89	5
10	155401256	Saten alçılı ve alçı panel yüzeylere astar uygulanarak iki kat su bazlı mat boya yapılması (iç cephe)	m ²	5040,15	5
11	153801056	(20 x 60 cm) veya (30 x 60 cm) veya (33 x 60 cm) anma ebatlarında, seramik duvar karoları ile duvar kaplaması yapılması	m ²	877,11	30
12	153751052	(30 x 30 cm) veya (33 x 33 cm) anma ebatlarında, seramik yer karoları ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	1000,60	30
13	154901002	Ac3 sınıf 23-31 laminat yer kaplaması ile döşeme kaplaması yapılması (süpürgelik dahil)	m ²	936,00	35
14	151901002	Kuvars agregalı (gri) yüzey sertleştirici ve kür uygulaması (taze betonda)	m ²	378,80	50
15	152501001	200 kg çimento dozlu tesviye tabakası yapılması	m ²	1452,00	50
16	152501101	2,5 cm kalınlığında 400 kg çimento dozlu şap yapılması	m ²	145,60	50
17	152601002	2 mm kalınlıkta, pvc esaslı, (düz tip ya da sinyal tabakalı) jeomembran ile su yalıtımı yapılması	m ²	145,60	50
18	153351601	3 cm kalınlıkta yüzeyi düzgün levhalar ile basma mukavemeti en az 200 kpa olan xps levhalarla döşemelerde ısı yalıtımı yapılması.	m ²	2021,80	50
19	152751101	250/350 kg çimento dozlu kaba ve ince harçla sıva yapılması (dış cephe sıvası).	m ²	1399,60	50
20	153401004	6 cm kalınlıkta taşıyıcı levhalar ile dış duvarlarda dıştan ısı yalıtımı ve üzerine ısı yalıtım sıvası yapılması	m ²	453,28	50
21	155401325	Brüt beton, sıvalı veya eski boyalı yüzeylere, astar uygulanarak silikon esaslı grenli/tekstürlü kaplama yapılması (dış cephe)	m ²	1399,60	5
22	153301007	Eğimli çatılarda, çatı örtüsü altına, polyester keçe taşıyıcı polimer bitümlü örtü ile su yalıtımı yapılması	m ²	427,46	30
23	153401403	Çatı arasına döşeme üzerine, 10 cm kalınlıkta camyünü şilte (camyünü şilte- 18 kg/m ³ yoğunlukta) ve üzerine su buharı geçişine açık su yalıtım örtüsü serilmesi	m ²	407,10	50
24	153001001	Ahşaptan oturtma çatı yapılması (çatı örtüsü altı tahta kaplamalı)	m ²	407,10	50
25	153051003	Yan ve üst kenarından kenetlenen kiremit ile çatı örtüsü yapılması (sızdırmazlık sınıfı: grup 1) (150 donma-çözülme çevrimine dayanıklı) (2 latalı sistem)	m ²	427,46	20
26	154101104	3 cm kalınlığında renkli mermer levha ile döşeme kaplaması yapılması (3cmx30-40-50cmxserbest boy)	m ²	25,93	50
27	154101304	Renkli mermer levha ile merdiven basamağı kaplaması yapılması (basamak 3 cm, rıht 2 cm kalınlığında)	m ²	79,31	50
28	771351006	Paslanmaz çelik küpeşte yapılması	m	91,83	50
29	771351005	Paslanmaz çelik merdiven korkuluğu yapılması	m	91,83	50
30	154101403	Denizlik metraji	m ²	40,92	50
31	152251004	10 cm kalınlığındaki teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (g2 sınıfı) (2,50 n/mm ² ve 400 kg/m ³)	m ²	1131,94	50
32	152251010	20 cm kalınlığındaki teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (g2 sınıfı) (2,50 n/mm ² ve 400 kg/m ³)	m ²	649,50	50
33	152251012	25 cm kalınlığındaki teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (g2 sınıfı) (2,50 n/mm ² ve 400 kg/m ³)	m ²	910,38	50
34	151601003	ø 8- ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	ton	48,44	50
35	151601004	ø 14- ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	ton	22,34	50
36	151501006	C30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi	m ³	791,12	50
37	151801003	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	m ²	5730,06	50
38	151201101	Makine ile her derinlik ve her genişlikte yumuşak ve sert toprak kazılması (derin kazı)	m ³	1862,33	50
39	152101004	Ocak taşı ile blokaj yapılması	m ³	48,33	50
40	151501002	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, c 12/15 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	32,22	50
41	152551006	3 mm kalınlıkta elastomer esaslı (-20 °c soğukta bükülmeli) polyester keçe taşıyıcı polimer bitümlü örtüler ile iki kat su yalıtımı yapılması	m ²	602,60	50
42	153351601	3 cm kalınlıkta yüzeyi düzgün levhalar ile basma mukavemeti en az 200 kpa olan xps levhalarla döşemelerde ısı yalıtımı yapılması	m ²	322,20	50
43	153351303	5 cm kalınlıkta yüzeyi düzgün levhalar (xps - 300 kpa basınç dayanımlı) ile bodrum perdelerinde su yalıtımı üzerine ısı yalıtımı yapılması.	m ²	280,40	50
44	152451002	250 gr/m ² ağırlıkta geotekstil keçe serilmesi	m ²	602,60	50
45	151501001	C8/10 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi	m ³	16,11	50
46	152201001	85 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 85 x 190 mm) ile duvar yapılması	m ²	602,60	50
47	154701419	PVC ve alüminyum doğramaya profil ile 4+4 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluklu ilk camı güneş ve ısı kontrol kaplamalı çift camlı pencere ünitesi takılması	m ²	311,83	30
48	154551001	Plastik doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması (sert pvc doğrama profillerinden her çeşit kapı, pencere, kaplama ve benzeri imalat)	kg	4474,40	50
49	154601001	Natürel-mat eloksallı profillerle ısı yalıtımsız alüminyum doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması	kg	1069,86	40
50	155101103	laminat kaplamalı, iki yüzü odun lifinden yapılmış levhalarla (mdf) presli, kraft dolgulu iç kapı kanadı yapılması, yerine takılması	m ²	264,18	35
51	155101001	Ahşaptan masif tablalı iç kapı kasa ve pervazı yapılması yerine konulması	m ²	112,20	35

6. ANALİZLER

Çalışmanın bu bölümünde 3. bölümde metodolojisi ve sınırları anlatılan analizlerin 5. bölümde sunulan örnek projeler üzerinde elde edilen sonuçları sunulmuştur.

6.1 Farklı Veri Kaynaklarının Karşılaştırması

Analizlerde kullanılan verileri değerlendirmek için yapılan istatistiksel karşılaştırmalar bu başlık altında verilmektedir. Derlenen EPD belgelerinin ICE veri tabanından sapma oranları hesaplanmıştır. Ayrıca iki örnek yapının farklı EPD belgeleri ile toplam EE ve EC değerleri belirlenerek farklı EPD belgelerinin yapının toplam EE ve EC değeri üzerindeki etkisi Monte Carlo simülasyonu ile belirlenmiştir. Simülasyonda her bir toplam EE-EC değeri hesabı yapı malzemesine atanan EPD belgelerinden birini rastgele seçerek tekrarlanmaktadır. Bir yapı malzemesine birden çok EPD belgesi alternatifi atanırken, bu belgelerin birbirinden farklı coğrafi kapsamlara sahip olması amaçlanmıştır. Malzemeler üzerindeki coğrafi kapsamın etkisinin gözlemlenmesi ile yaşam döngüsü analizinde farklı EPD belgelerinin kullanımının etkisi araştırılmıştır.

6.1.1 EPD-ICE karşılaştırması

Çalışmanın bu bölümünde derslik ve konut yapıları için EPD ve ICE verilerinin karşılaştırma analizi sunulmaktadır. EPD belgelerini değerlendirmek için bunlardan elde edilen verilerin metraj verileriyle eşleştirilmesi gerekmektedir. EPD belgeleri doğrudan yapı malzemesine atanabilen verilerden oluşmaktadır. Analizi yapılacak iki yapının metraj bilgileri iş tarifleri biçiminde sunulmuştur. Yapıların metraj ve rayiç malzemelerin poz numaraları Derslik yapısı için **Ek K**’da ve konut yapısı için **Ek-L**’de sunulmaktadır.

Yapı malzeme türlerinin her biri için aynı sayıda EPD belgesi bulunamamıştır. Bazı malzemelerin birden çok EPD belgesi olmasına rağmen ICE veri tabanında karşılığı yoktur. Bu yapı malzemeleri EPD-ICE karşılaştırma analizinin dışında tutulmuş ve EPD-EPD karşılaştırma analizine dahil edilmiştir. EPD belgelerinden elde edilen EE-EC verileri öncelikle yapı malzemesini temsil eden referans birimi belirlenir. Bu duruma örnek olarak boya için 1 kg, duvar için 1 m², beton için 1 m³ verilebilir. Ardından ICE veri tabanı ile karşılaştırma yapabilmek için ilgili malzemenin EE-EC değerleri kg birimine çevrilmiştir.

Elde edilen verilerin malzemenin kabul edilen referans birimine ve kg referans birimine göre EE ve EC verileri, Derslik yapısı için **Ek K**'da ve konut yapısı için **Ek-L**'de sunulmaktadır.

Çalışmada analizlerde kullanılan veriler için toplamda 284 EPD belgesinden yararlanılmıştır. Çizelge 6.1'de analizlerde kullanılan 284 adet EPD belgesinin temsil ettiği coğrafi kapsam, her bir bölgeden elde edilen veri sayısı ile birlikte verilmiştir. Coğrafi kapsam malzemenin sadece üretim bölgesini değil aynı zamanda malzemenin geçerli olduğu bölgeyi temsil etmektedir. Çalışmada kullanılan EPD belgeleri arasında ülkemizde üretilen fakat 'Global' etiketine sahip belgeler oldukça fazladır. Bu durum diğer bölgeler için de geçerlidir. Çizelge 6.1'de '/' işareti ile ayrılmış isimler, 'plastik başlıklı mantolama vidası' gibi biri plastikten diğeri çelikten oluşan iki farklı EPD belgesinin bir arada kullanıldığı malzemeleri temsil etmektedir. Bunun dışında birden çok bölgeye sahip EPD belgeleri de vardır. Analizlerde kullanılan EPD belgelerinin yaklaşık %53 küresel kapsama sahip EPD belgelerinden elde edilmiştir. Ülkemizin de içinde bulunduğu Avrupa kapsamına sahip belge yaklaşık %11'dir. %8'lik bir orana sahip olan 'United Arab Emirates' coğrafyası verilerini ülkemizde de satışı bulunan bir markanın boya ve astar çeşitleri oluşturmaktadır. Kalan EPD belgeleri ise genellikle Avrupa bölgesi ağırlıklıdır. Çalışmada derlenen EPD belgelerine sahip malzemelerin çoğu ülkemizde de satışı bulunan malzemelerden oluşmaktadır.

Çizelge 6.1 : Analizlerde kullanılan EPD belgelerinin temsil ettiği coğrafi kapsam.

Coğrafi kapsam	Temsil ettiği EPD sayısı	Coğrafi kapsam	Temsil ettiği EPD sayısı
Küresel	152	Norveç	2
Avrupa	33	Kuzey ülkeleri, Avrupa	2
Birleşik Arap Emirlikleri	23	Küresel/Avustralya	2
Almanya	13	Avrupa, Yunanistan, Küresel	2
İsveç	12	Slovenya	1
Türkiye	9	İrlanda	1
Avustralya	6	Avusturya	1
Birleşik Krallık	6	İrlanda, Birleşik Krallık	1
Almanya/Küresel	4	Çin	1
Finlandiya	4	Norveç, Finlandiya, Danimarka, İsveç	1
Yunanistan	3	Finlandiya	1
Meksika	3	Katar	1
Almanya/İtalya	3	Türkiye/Global	1
Fransa	3	İskandinav ülkeleri	1
AB-27	3	ABD	1
Avrupa/Norveç	3	AB-27/Avrupa	1
İtalya	2	İsveç, Finlandiya, Norveç, Danimarka, Birleşik Krallık, Avrupa, İskandinav ülkeleri	1
İsviçre	2	Avrupa, Yunanistan, Küresel/Avrupa, Türkiye, Ukrayna	1
Yeni Zelanda	2	Avrupa, Türkiye, Ukrayna	1
Güney Kore	2	Küresel, Avrupa, İspanya/Birleşik Krallık	1
Küresel/Fransa	2	Yunanistan/Global	1
Küresel/Avrupa	2		

Bir EPD belgesi birden çok yapı malzemesi için kullanılabilir. Bu duruma örnek olarak mermer için kullanılan EPD belgesi verilebilir. İlgili bakanlığın inşaat yapı malzemeleri arasında 236 adet mermer pozu bulunmaktadır.

EPD-EPD karşılaştırması için ek 194 adet EPD belgesi daha derlenmiştir. Karşılaştırma için EPD belgeleri derlenirken mümkünse farklı coğrafi kapsamlarda olması dışında herhangi bir kriter gözetilmeksizin rastsal olarak toplanmıştır. Çizelge 6.2’de EPD belgeleri arasındaki sapmayı hesaplamak için her bir yapı malzemesine derlenen ek EPD belgelerinin sayısı temel yapı malzemeleri için verilmiştir. Bu sayı her malzeme için değişiklik göstermekle birlikte en çok çimento ve çimento esaslı malzemeler, beton, çelik türevleri ve alüminyum yapı malzemelerinde yüksektir.

Çizelge 6.2 : Yapı malzemeleri için derlenen ek EPD belgelerinin sayısı.

Malzeme türü	EPD sayısı	Malzeme türü	EPD sayısı
Agrega	4	Çimento esaslı ısı yalıtım levha sıvası	3
Portland çimentosu	8	Bitümlü örtüler-membran	4
Beton	4	Geotekstil keçe	2
Donatı	4	PVC esaslı jeomembran	3
Tuğla	2	Cam	4
Gazbeton	4	PVC doğrama	4
Gazbeton tutkalı	5	Çivi	3
Kil kiremit	3	Sentetik tutkal	2
Çam kerestesi	4	Profil demir	6
Plywood	2	Sac plaka	6
Kireç	2	Paslanmaz metal çubuk	10
Laminat yer kaplaması	4	Alüminyum kompozit panel-polietilen dolgulu	4
Odun lifinden levha	5	Çinko levha	3
Natürel-mat eksenli alüminyum profil	3	Kare ve dikdörtgen kesitli çelik borular	5
Alüminyum profil	7	Dübel	3
Lama	5	Andezit plaklar	3
Mermer	4	Porselen karo	5
Seramik yer karosu	4	Terrazo karo plaklar	3
Seramik duvar karosu	3	Derz dolgu alçısı	5
Makina sıva alçısı	4	Alçı levha	5
Perlitli sıva alçısı	4	Sentetik esaslı boya	4
Saten alçı	3	Demir- çelik yüzey koruyucu astar (antipas)	2
Alüminyum asma tavan plağı	1	Epoksi esaslı zemin kaplama öncesi astar	4
Su bazlı iç cephe boyası	5	Su yalıtım malzemesi (likit membran)	2
Silikon esaslı su bazlı grenli dış cephe kaplaması	3	Sıva filesi	3
Boya astarı	4	Püskürtme olarak uygulanan sert poliüretan köpük	3
Kür malzemesi	1	HDPE esaslı drenaj ve koruma levhaları	1
Yüzey sertleştirici	2	Gömme silindirik kapı kilidi	3
Çimento esaslı karo yapıştırıcı	4	Kapı kolu ve aynaları	2
Çimento esaslı derz dolgusu	3	Menteşe	2
Camyünü	3	PVC boru (yağmur suyu borusu)	3
Taşıyünü	2	Koruge drenaj boruları (PVC esaslı)	2
XPS	3	Alüminyum cephe kaplaması (4-16-4 cam +al.çerçeve profil ve detayları)	1
Çimento esaslı ısı yalıtım levhası yapıştırıcısı	3		

Derlenen bütün EPD belgelerindeki karbon ve enerji değerleri öncelikle ICE veri tabanındaki değerler ile karşılaştırılmıştır. Derslik ve konut yapıları için elde edilen EPD belgeleri ve ICE verileri arasındaki yüzde değişim sırasıyla Çizelge 6.3 ve 6.4’te verilmiştir. Çizelgelerde poz numarasının sağındaki ‘ICE-Tez EPD’ isimli ilk sütun tezde yapıların yaşam döngüsü analizinde kullanılan EPD’lerden elde edilen verilerin ICE verileri ile arasındaki sapmayı vermektedir. Geri kalan ise EPD belgeleri arasında karşılaştırma yapmak için derlenen ek EPD belgelerinden elde edilen sonuçlardır. Çizelge 6.3-4’te her bir satır bir yapı malzemesini için derlenen EPD’lerden elde edilen verilerin ICE’ye göre değişimini EE ve EC için farklı sütunlarda vermektedir. Her bir satırda bulunan EE değerlerinin ortalaması hesaplanarak her bir yapı malzemesi için ortalama EE değeri belirlenir. Bu hesaplama EC verisi için de yapılarak malzemelerin ortalama EE-EC değerleri hesaplanmaktadır. Bunun yanı sıra ek EPD belgeleri tezde yaşam döngüsü analizinde kullanılmamaktadır. Çizelgelerde yüzde ifadelerinin negatif olması EPD belgesindeki değerin ICE’de belirtilen değerden daha düşük bir EE-EC değerine sahip olduğunu göstermektedir. Verilerin farklı coğrafyadan, farklı hammadde oranlarından ve farklı üretim sistemlerinden elde edilmeleri gibi sebeplerden sapmalar oluşmaktadır. Karşılaştırma için toplanan ek EPD’lerin herhangi bir kritere bağlı olmaksızın analize dahil edilerek EPD-ICE verileri arasındaki sapmanın dağılımı elde edilmiştir.

Çizelge 6.3 : Derslik yapısı malzemeleri için ICE-EPD verilerinin değişim yüzdeleri.

Tanım	Poz no	ICE-Tez EPD		ICE-EPD1		ICE-EPD2		ICE-EPD3		ICE-EPD4		ICE-EPD5		ICE-EPD6		ICE-EPD7		ICE-EPD8		ICE-EPD9	
		EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC
Çakıl (iri agregat)	101301001	-72,05%	-64,81%	-55,42%	-48,08%	-38,07%	-35,77%	-32,41%	-5,96%												
Çakıl (tügenan)	101301002	-72,05%	-64,81%	-55,42%	-48,08%	-38,07%	-35,77%	-32,41%	-5,96%												
Kum (tügenan)	101301005	-72,05%	-64,81%	-55,42%	-48,08%	-38,07%	-35,77%	-32,41%	-5,96%												
Derz kumu	101301007	-72,05%	-64,81%	-55,42%	-48,08%	-38,07%	-35,77%	-32,41%	-5,96%												
63 mm'ye kadar kırılma taş	101301009	-72,05%	-64,81%	-55,42%	-48,08%	-38,07%	-35,77%	-32,41%	-5,96%												
Portland çimentosu (ts en 197-1 cem i 42,5 r)	101301203	-29,67%	-4,42%	-32,55%	-18,95%	-58,36%	-26,53%	-48,73%	-9,58%	-16,74%	-10,00%	-9,79%	-47,18%	-50,22%	-14,49%						
C 8/10 beton harcı	101301501	-64,01%	-35,85%	-53,04%	-38,28%	-34,93%	-15,97%	-53,04%	-38,28%												
C 12/15 beton harcı	101301502	-64,01%	-35,85%	-53,04%	-38,28%	-34,93%	-15,97%	-53,04%	-38,28%												
C 16/20 beton harcı	101301503	-66,04%	-25,69%	-8,83%	-19,44%	-36,70%	-17,77%	-40,73%	-25,19%												
C 20/25 beton harcı	101301504	-6,87%	9,03%	-60,99%	20,14%	-6,87%	9,03%														
C 25/30 beton harcı	101301505	-8,17%	8,78%	-61,49%	18,41%	-35,46%	16,94%														
C 35/45 beton harcı	101301507	1,66%	19,79%	-62,27%	11,52%	-29,51%	-6,33%														
Beton çelik çubuğu, nervürlü ø 8-12 mm	101301704	-27,31%	49,56%	-218,88%	360,90%	-38,55%	73,13%	-25,85%	17,11%												
Beton çelik çubuğu, nervürlü ø 14-32 mm	101301705	-27,31%	49,56%	-218,88%	360,90%	-38,55%	73,13%	-25,85%	17,11%												
Malvar	101301707	-27,95%	48,00%	-82,15%	-28,99%	13,59%	4,89%	32,44%		-8,18%	20,89%										
Sıcak haddelenmiş profil demirler	101301708	-27,95%	48,00%	190,77%	407,33%	-2,39%	41,11%	-13,07%	58,67%	-68,07%	-50,44%	46,59%	133,33%								
Çelik hasır (nervürlü)	101301752	-23,76%	56,00%	-21,84%	-13,11%	-430,39%	760,00%	-6,25%	15,33%												
10 cm kalınlıkta teçhizatız gazbeton duvar bloğu	101302505	27,79%	84,30%	39,05%	94,62%	-24,86%	27,00%	-25,26%	54,84%												
20 cm kalınlıkta teçhizatız gazbeton duvar bloğu	101302511	27,79%	84,30%	39,05%	94,62%	-24,86%	27,00%	-25,26%	54,84%												
25 cm kalınlıkta teçhizatız gazbeton duvar bloğu	101302513	27,79%	84,30%	39,05%	94,62%	-24,86%	27,00%	-25,26%	54,84%												
20 cm kalınlıkta teçhizatlı gazbeton lenti	101302651	-5,23%	76,35%																		
25 cm kalınlıkta teçhizatlı gazbeton lenti	101302653	-5,23%	76,35%																		
Gazbeton tuğla	101302790	6,19%	1,28%	137,11%	161,54%	57,73%	54,49%	32,99%	44,87%	-5,26%	-7,69%										
Çam kerestesi	101304502	-9,33%	-35,98%	-27,33%	-38,58%	-80,21%	-86,08%	-81,49%	-280,42%												
Beyaz çam	101304504	-9,33%	-35,98%	-27,33%	-38,58%	-80,21%	-86,08%	-81,49%	-280,42%												
Kireçler	101306001	60,19%	41,03%	132,08%	79,49%																
Odun lifinden yapılmış levhalar- düz 4 mm	101702002	7,36%	99,66%	-13,45%	-20,77%	-41,13%	-56,58%	8,55%	-45,74%	2,24%	-25,16%										
Yonga levhalar-18 mm kalınlıkta	101702202	-59,75%	-35,99%	34,34%	8,57%	-55,34%	-40,50%	-17,65%	-25,65%	-22,44%	2,56%										
Düz sıyah sac (2,0 mm kalınlık)	102001002	18,09%	60,00%	36,24%	53,92%	19,36%	43,41%	59,04%	79,71%	57,98%	84,78%	69,68%	97,10%								
Sıcak haddelenmiş sac	102001254	25,53%	56,52%	36,24%	53,92%	-55,80%	46,01%	-39,36%	-51,23%												
Sıcak daldırma galvaniz üzeri boyalı düz sac	102001302	-44,25%	-35,45%	149,56%	243,51%	15,69%	52,59%														
Baklava desenli sac	102001501	-11,55%	24,70%	2,04%	27,95%	10,60%	19,22%	19,12%	49,40%	18,33%	53,61%	27,09%	63,86%								
Paslanmaz çubuk	102001601	64,24%	118,22%	423,86%	671,11%	-28,99%	13,59%	205,57%	447,56%	181,36%	430,89%	204,31%	437,11%	-82,15%	-53,56%	4,89%	32,44%	265,42%	-23,67%	55,78%	
Elektrostatik toz boyalı alüminyum profil	102002006	-25,32%	27,75%	0,00%	-11,67%	-43,51%	-18,17%	-25,97%	8,15%	61,69%	208,37%	52,60%	116,96%	-36,30%	10,13%						
Elektrostatik toz boyalı ısı yalıtımlı alüminyum profil	102002016	-5,19%	34,36%	0,00%	-11,67%	-43,51%	-18,17%	-25,97%	8,15%	61,69%	208,37%	52,60%	116,96%	-36,30%	10,13%						
Alüminyum kompozit panel (0,50 mm + 3 mm +0,50 mm)	102002401	-36,29%	-2,92%	-24,33%	87,50%	-38,11%	22,12%	-47,56%	-10,25%												
Alüminyum dilatasyon profilleri	102002701	-28,57%	23,35%	67,53%	98,24%	-40,45%	-21,37%	-38,31%	8,70%	-66,82%	-39,65%										
Çinko levha	102002801	-55,74%	5,83%	-41,62%	10,03%	-46,70%	7,44%														
Tavan c 60 profili	102003002	-36,05%	-36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	12,27%	49,56%	82,47%						
Tavan u 28 profili	102003003	-36,05%	-36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	12,27%	49,56%	82,47%						
Klips 7,5 cm uzunlukta	102003023	-36,05%	-36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	12,27%	49,56%	82,47%						
Ekleme parçası, 9 cm uzunlukta, 0,6 mm kalınlıkta	102003026	-36,05%	-36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	12,27%	49,56%	82,47%						
Sıcak daldırma galvanizli	102003028	-36,05%	-36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	12,27%	49,56%	82,47%						
Agraf	102003028	-36,05%	-36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	12,27%	49,56%	82,47%						

Çizelge 6.3 (devam) : Derslik yapısı malzemeleri için ICE-EPD verilerinin değişim yüzdeleri.

Tanım	ICE-Tez EPD		ICE-EPD1		ICE-EPD2		ICE-EPD3		ICE-EPD4		ICE-EPD5		ICE-EPD6		ICE-EPD7		ICE-EPD8		ICE-EPD9	
	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC
Ağaf vıdası (karbon gelişinden mamul)	102003030	39,38%	32,47%	95,13%	142,86%	203,98%	262,34%													
Alüminyum, metal asma tavanlar için-gizli taşıyıcı profil	102003052	36,05%	36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	49,56%	82,47%						
Alüminyum, metal asma tavanlar- c profili	102003053	25,32%	27,75%	0,00%	-11,67%	43,51%	-18,17%	-25,97%	8,15%	61,69%	208,37%	52,60%	116,96%	-36,30%	10,13%					
Alüminyum, metal asma tavanlar- taşıyıcı ek	102003055	36,05%	36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	49,56%	82,47%						
Alüminyum, metal asma tavanlar- birleşim klipsi	102003056	36,05%	36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	49,56%	82,47%						
Alüminyum, metal asma tavanlar- bastırma klipsi	102003057	36,05%	36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	49,56%	82,47%						
Asma tavanlar için t profiller-askı gubuğu 40cm	102003129	36,05%	36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	49,56%	82,47%						
Asma tavanlar için çiftli yay	102003136	36,05%	36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	49,56%	82,47%						
Asma tavanlar için-çelik dübel	102003137	36,05%	36,23%	60,18%	108,44%	11,50%	55,19%	23,45%	88,96%	41,02%	93,51%	20,96%	49,56%	82,47%						
Kare ve dikdörtgen kesitli çelik borular	102003601	23,67%	55,78%	205,57%	447,56%	181,36%	430,89%	204,31%	437,11%	218,18%	497,78%									
Gömelekli dübel (st 37 galvaniz)-m8x100 mm	102004024	39,38%	32,47%	95,13%	142,86%	203,98%	262,34%													
Dış çap 48,3 olan yapısal çelik boru	102004508	66,05%	51,66%	35,81%	69,93%	25,05%	64,76%	35,25%	66,69%	41,41%	85,52%									
Renkli mermerler	102401701	89,61%	38,41%	55,73%	48,24%	310,51%	270,10%	476,58%	423,81%											
Andezit bordürler	102402603	3,32%	64,01%	-39,27%	49,60%	7,94%	-11,39%													
Andezit plaklar	102402668	3,32%	64,01%	-39,27%	49,60%	7,94%	-11,39%													
Siraz porselen karolar	102403608	6,54%	3,08%	43,23%	40,30%	37,67%	-40,51%	-12,50%	18,41%	35,52%	-42,28%									
Siraz porselen karolar	102403658	6,54%	3,08%	43,23%	40,30%	37,67%	-40,51%	-12,50%	18,41%	35,52%	-42,28%									
Siraz porselen karolar	102403660	6,54%	3,08%	43,23%	40,30%	37,67%	-40,51%	-12,50%	18,41%	35,52%	-42,28%									
Terrazo karo plaklar (çr mekân)	102404605	778,57%	380,83%	102,54%	97,11%	55,77%	73,83%													
Perlitli aya alçısı	102405507	28,33%	33,08%	22,22%	7,69%	5,66%	7,69%	18,89%	9,23%											
İnce uygulanabilir alçı (saten alçı)	102405508	41,11%	46,92%	18,89%	9,23%	-14,44%	-21,54%													
Derz dolgu alçısı	102405513	39,44%	43,85%	141,67%	86,92%	50,00%	23,08%	-14,44%	21,54%	27,78%	-3,08%									
12,5 mm kalınlığında tip R2 alçı levha	102405633	27,45%	39,08%	-56,20%	-52,90%	-12,95%	-67,03%	-62,36%	70,70%	-54,01%	-46,05%									
Asma tavan plakları için 60x60cm ebatlarında 0,70mm kalınlığında alüminyum delikli plaka	102406602	22,29%	102,88%	161,18%	322,64%	-24,87%	108,19%													
Asma tavan plakları için 30x30cm ebatlarında 0,70mm kalınlığında alüminyum delikli plaka	102406607	22,29%	102,88%	161,18%	322,64%	-24,87%	108,19%													
Ön yüzü akustik kumaş kaplı, arka yüzü camtülü kaplı, 95 kg/m² yoğunlukta camyünü duvar levhası	102406735	46,96%	-24,08%	270,47%	328,41%	-56,69%	-34,93%													
Su bazlı mat iç cephe boyası	103001041	66,95%	49,21%	55,43%	48,43%	64,87%	33,58%	-38,09%	-4,12%	-60,03%	-32,28%									
Sentetik esaslı boya	103001047	37,52%	-11,31%	-70,86%	-54,98%	66,31%	-40,89%	-47,72%	27,51%											
Silikon esaslı grenli/tektürlü dış cephe kaplaması	103001053	75,86%	62,54%	-96,66%	-91,99%	82,43%	-64,26%													
Epoksi esaslı zemin kaplama öncesi astar (iki bileşenli)	103002152	-64,31%	-54,39%	-90,07%	-90,14%	-90,83%	-84,54%	-80,51%	-75,61%											
Elastomerik reçine esaslı su yalıtım malzemesi (ilkit membran)	103002174	83,80%	-83,23%	-79,85%	-74,39%															
Çimento esaslı, karo yapıstırıcı	103002203	13,92%	-30,10%	25,49%	-25,25%	62,35%	-69,24%	-68,63%	66,88%											
Çimento esaslı derz dolgu su	103002231	31,48%	-2,79%	182,00%	67,36%	290,75%	137,12%													
Çimento esaslı, su emilimi azaltılmış derz dolgu su	103002232	31,48%	-2,79%	182,00%	67,36%	290,75%	137,12%													
İnorganik menşeli (taşyünü)	103301543	-0,29%	0,29%	-15,48%	14,73%	12,05%	17,71%													
Ekstrüde polistiren köpük levhalar (xps)	103302262	5,22%	30,02%	-22,04%	-42,64%															
Çelik çivili yalıtım dübelleri	103302351	-51,94%	-6,13%																	
3 ile 5 cm arası mantolama kalınlıkları için alüminyum su basman (başlangıç) profili	103302411	-28,57%	23,35%	0,00%	-11,67%	-43,51%	-18,17%	-25,97%	8,15%	61,69%	208,37%	52,60%	116,96%	-36,30%	10,13%					
Isı yalıtım levhası yapıstırıcısı (çimento esaslı polimer katkılı)	103302503	44,36%	8,14%	335,34%	134,84%	33,46%	25,34%													

Çizelge 6.3 (devam) : Derslik yapısı malzemeleri için ICE-EPD verilerinin değişim yüzdeleri.

Tanım	Poz no	ICE-Tez EPD		ICE-EPD1		ICE-EPD2		ICE-EPD3		ICE-EPD4		ICE-EPD5		ICE-EPD6		ICE-EPD7		ICE-EPD8		ICE-EPD9	
		EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC
Sıyalıtım levha sıvası (çimento esaslı polimer katkı)	103302505	60,90%	15,38%	335,34%	134,84%	83,46%	25,34%														
Çift bileşenli püskürtme keçe uygulanan sert poliüretan köpük	103303101	0,00%	24,60%	-11,33%	-26,00%	-90,15%	-8,92%														
Elastomer esaslı polyster keçe taşıyıcı örtüler	103305171	89,38%	88,20%	-35,82%	-42,95%	-56,42%	-71,62%	-65,67%	-78,50%												
Likit astar ve koruyucular-bitüm emülsiyonu	103305291	-42,84%	-73,67%	-42,37%	92,04%	-24,90%	114,29%														
Geotekstil keçeler	103306004	215,79%	296,33%	-54,84%	-23,92%																
HDPE esaslı drenaj ve koruma levhaları	103306401	-69,23%	-12,44%																		
Yalıtım camları-12 mm ara boşluk çitallı-4+4 mm kalınlıkta	103801512	-12,68%	19,94%	-2,67%	49,45%	26,00%	39,56%	-9,25%	16,16%												
Yalıtım camları-16 mm ara boşluk çitallı (ilk camı güneş ve ısı kontrol kaplamalı)-4+4 mm kalınlıkta	103801581	30,99%	-3,75%	-26,37%	-7,04%	1,59%	19,16%	-79,74%	-20,30%												
Camlaına takozu	103809981	-37,69%	-26,45%	-8,29%	53,23%	-16,05%	19,37%														
Cam conta ve fitilleri	104001021	-14,84%	27,82%	30,77%	92,63%																
Gömme silindrii lı ve dış kapı kilidi	104002004	120,20%	134,03%	60,50%	48,88%	30,44%	77,87%														
Kapı kolu ve aynaları	104002008	-31,45%	-9,22%	-45,90%	-30,03%																
Menteşe	104002010	-31,45%	-9,22%	-45,90%	-30,03%																
Çiviler	104201006	39,38%	82,47%	95,13%	142,86%	203,98%	262,34%														
Galvanizli çivi	104201007	39,38%	82,47%	95,13%	142,86%	203,98%	262,34%														
Geniş başlı galvanizli çivi (shingle çivisi)	104201008	39,38%	82,47%	95,13%	142,86%	203,98%	262,34%														
Vida ve plastik dübel	104201012	-62,57%	-36,25%	-82,79%	-72,46%																
Borazan vida	104201013	39,38%	82,47%	95,13%	142,86%	203,98%	262,34%														
Matkap ucu vida	104201014	39,38%	82,47%	95,13%	142,86%	203,98%	262,34%														
Ø 100 mm lik bir ucu muflu sert pvc boru (yağmur suyu borusu)	104201402	-28,74%	-29,41%	-91,51%	0,93%	-11,70%	-18,89%														
Kraft kâğıt dolgu petekleri-32 mm kalınlığında	104201501	-33,71%	22,71%	-72,97%	-59,93%																
Pvc pestili (1 mm lik)	104201513	-65,18%	-61,16%	5,11%	-8,27%																
Koruge drenaj boruları (pvc esaslı)-Ø 200 mm anma çapı	104501057	14,05%	12,97%	-11,70%	-18,89%																
İşlenmiş küçük demirler (muhtelif)	104801821	-27,95%	48,00%	-82,15%	-53,56%	-28,99%	13,59%	32,44%	-8,18%	20,89%											

ICE verileri hem tezde yaşam döngüsü analizlerinde kullanılan EPD verileri ile hem de toplanan ek EPD verilerinin ortalaması ile elde edilen değer ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede tez kapsamında hazırlanan veri tabanının ve ortalama EPD verilerinin ICE'den sapması belirlenmektedir. Benzer yapı malzemesi için derlenen bütün EPD ve ICE verilerini karşılaştırmak için her bir malzeme için derlenen bütün EPD verilerinin ortalaması alınır. Ardından bu ortalama değer ICE ile karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 6.3'te Derslik yapısı için ICE-EPD verilerinin karşılaştırması verilmiştir. Her bir yapı malzemesi için bütün EPD belgelerinden alınan verilerin EE ve EC değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Bu değerler ile ICE verilerinin değişim ortalaması EE için %12,9 ve EC için %39,2 bulunmuştur. ICE veri tabanı literatürden derlenen belgelerin ortalamaları ile elde edilmiştir. EPD belgelerinden elde edilen ortalama değerler ile ICE değerlerinin karşılaştırma sonucu, rastgele EPD seçimi ile yapılacak yaşam döngüsü analizinin ICE verileri ile yapılacak yaşam döngüsü analizinden ortalama EE için %12,9 ve EC için %39,2 bir değişim ile sonuçlanacağını göstermektedir. Tezde yaşam döngüsü analizinde kullanılan veriler ile ICE verileri karşılaştırıldığında EE %-7,2 ve EC %10,7 oranında bir değişime sahiptir. Karşılaştırma oranlarından tezde yaşam döngüsü analizinde kullanılan EPD belgeleri daha düşük çıkmıştır. Analizlerde bir yapı malzemesi için kullanılacak EPD belgesi seçilirken ICE verilerinin hammadde ve enerji kullanım oran ve miktarı gözetilerek yapılmıştır. Bu durum analizlerde kullanılan EPD belgeleri ile ICE verileri arasında daha düşük bir farkın elde edilmesiyle sonuçlanmıştır. Karşılaştırma sonucu tezde yaşam döngüsü analizi için hazırlanan veri tabanı kullanılarak analiz edilen bir yapının, ICE verileri ile analiz edilen bir yapıdan EE değerinde %-7,2 ve EC değerinde %10,7 bir değişim olacağını göstermektedir. Bu hesaplama Konut yapısı için tezde yaşam döngüsü analizinde kullanılan veriler ile ICE verileri karşılaştırıldığında EE %-15,8 ve EC %-8,4, EPD belgelerinden elde edilen ortalama değerler ile ICE verileri karşılaştırıldığında EE %11,5 ve EC %26,4 oranında bir değişim elde edilmiştir. İki yapının veri kaynakları arasındaki sapma miktarlarının ortalamaları alındığında tezde yaşam döngüsü analizinde kullanılan veriler ile ICE verileri karşılaştırıldığında EE %-11,5 ve EC %1,1, EPD belgelerinden elde edilen ortalama değerler ile ICE verileri karşılaştırıldığında EE %12,2 ve EC %32,8 miktarında sapma belirlenmiştir.

ICE veri kaynağından farklı olan EPD belgelerinin kullanımı iki veri kaynağı arasındaki farklılığı ortaya çıkarmıştır. Sadece yapı malzemelerinin üretimde kullanılan hammaddenin benzer oranlarda olması yapı malzemelerinin çevre etki değerlerinin benzer olması için yeterli değildir. Üretim süreci, sistem sınırları, taşıma gibi birçok parametre

farklılaşabileceği için değerlerde ayrışma olabilir. Bunun dışında veri dalgalanmasının birçok nedeni olabilir. Pozitif ya da negatif %50'den fazla değişime uğrayan malzemelerden biri çelik imalatlarıdır. Çelik imalatlarında kullanılan hurda malzemenin miktarı, yakıt türü ya da elde edilecek malzemenin detaylı işçiliği değişim sebeplerinden birkaçıdır. İmalat sürecinde ısıyı geri kazanabilme oranı da etkilidir. Sonuçlarda dalgalanma gösteren bir malzeme de agregadır. ICE veri tabanı agrega için boyut belirtmemiştir. Agrega boyutu küçüldükçe öğütme süresi artacağı için çevresel etki de artacaktır. EPD verileri ise genellikle belirtilmiş bir boyuta göre agreganın karbon ve enerji değerlerini sunmaktadır. Bundan dolayı verilerde sapma olması doğaldır. Agregaların elde edilme yöntemi de sistemi etkilemektedir. Çimento esaslı hazır sıva gibi malzemeler için ICE veri tabanında EPD'de bulunan karışımları doğrudan sağlayan bir veri yoktur. Lifli, çimentolu, kireçli, kimyasal katkılı çok farklı çeşitlerde sıva bulunmaktadır. Polimer katkılı sıvaların çevresel etkisinin geleneksel sıvadan daha yüksek olması beklenen bir durumdur. Mermer gibi doğal taş ürünlerinden elde edilen yapı malzemelerinde de değişim gözlemlenmiştir. Hammaddenin temini, taşınması ve ulaşım her bir malzemeyi etkilese de doğal taş ürünlerinin çevresel etkilerini daha çok etkilemektedir. Ayrıca honlama, cilalama gibi kimyasal işlemlerinde katkısı oldukça büyüktür. Çimento ve beton gibi istenilen dayanıma farklı karışımlar ile ulaşılabilen malzemelerde de sapma gözlemlenmiştir. Betonun çevresel etkilerinde en çok payı olan bileşen çimentodur. Son yıllarda betonda çimentonun yerine kullanılan cüruf gibi atık malzemeler ile betonun çevresel etki değerleri değişkenlik göstermiştir. HDPE ve bitüm esaslı yapı malzemeleri de negatif yönde %50 den fazla bir sapma göstermiştir. Sebebi ise ikincil malzemeler ile üretim yapılmasıdır. Keresteden üretilen malzemelerin karbon değerinde farklı sapmalar gözlemlenmiştir. Bunun sebeplerinden biri hesaplama kabulleridir. ICE veri tabanı kerestenin karbon tutmasını dikkate almamaktadır. Fakat bu durumu dikkate alan EPD belgeleri vardır. Bunun dışında en önemli sebep ise kereste elde edilirken harcanan enerjidir. Keresteden birçok malzeme üretilmektedir. Sunta, yonga levha ya da ham kereste işleri bunlardan birkaçıdır. Örneğin MDF üretiminde kullanılan bağlayıcı ya da atık miktarı karbon ve enerji değerini değiştirecektir. Bundan dolayı EPD ve ICE verileri farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 6.4 : Konut yapısı malzemeleri için ICE-EPD verilerinin değişim yüzdeleri.

Tanımı	Poz no	ICE-EPD	ICE-EPD1	ICE-EPD2	ICE-EPD3	ICE-EPD4	ICE-EPD5	ICE-EPD6	ICE-EPD7
Kum (tuvaan agregadan)	101301005	72.0%	64.8%	55.4%	48.1%	38.1%	32.4%	25.3%	14.5%
İnce siva veya derz kumu	101301007	72.0%	64.8%	55.4%	48.1%	38.1%	32.4%	25.3%	14.5%
63 mm'ye kadar kırma taş	101301009	72.0%	64.8%	55.4%	48.1%	38.1%	32.4%	25.3%	14.5%
Portland çimentosu (ts en 197-1 cem i 42,5 r)	101301203	29.7%	4.4%	32.5%	18.9%	58.4%	26.5%	48.7%	9.6%
C 8/10 beton harcı	101301501	64.0%	35.8%	32.5%	38.3%	34.9%	16.0%	57.8%	16.7%
C 30/37 beton harcı	101301506	10.5%	4.9%	29.7%	17.2%	64.1%	3.0%	53.0%	38.3%
Beton çelik çubuğu, nervürlü Ø 8-12 mm	101301704	27.3%	49.6%	218.9%	360.9%	38.5%	73.1%	25.9%	17.1%
Beton çelik çubuğu, nervürlü Ø 14-32 mm	101301705	27.3%	49.6%	218.9%	360.9%	38.5%	73.1%	25.9%	17.1%
Amalar	101301707	28.0%	48.0%	82.1%	53.6%	29.0%	13.6%	4.9%	32.4%
Yatay delikli tuğlalar-190 x 85 x 190 mm	101302001	29.3%	0.2%	30.0%	40.0%	24.9%	27.0%	25.3%	54.8%
10 cm kalınlıkta teçhizatız gazbeton duvar bloğu	101302505	27.8%	64.3%	39.0%	94.6%	24.9%	27.0%	25.3%	54.8%
20 cm kalınlıkta teçhizatız gazbeton duvar bloğu	101302511	27.8%	64.3%	39.0%	94.6%	24.9%	27.0%	25.3%	54.8%
25 cm kalınlıkta teçhizatız gazbeton duvar bloğu	101302513	27.8%	64.3%	39.0%	94.6%	24.9%	27.0%	25.3%	54.8%
Gazbeton tuftalı	101302790	6.2%	-1.3%	137.1%	161.5%	57.7%	54.5%	33.0%	44.9%
Kil kiremitler	101304005	30.0%	4.2%	53.0%	30.5%	22.0%	0.8%	5.3%	-7.7%
Çam kerestesi	101304502	9.3%	36.0%	27.3%	38.6%	80.2%	86.1%	81.5%	280.4%
Beviz çam	101304504	9.3%	36.0%	27.3%	38.6%	80.2%	86.1%	81.5%	280.4%
Plywood	101304606	-79.4%	-218.2%	35.8%	116.2%				
kesitli ahşap kırış	101304607	69.0%	173.8%	189.0%	20.6%	27.3%	38.6%	81.5%	280.4%
Kalsiyum kireci- sönmüş toz kireç	101306001	60.2%	41.0%	132.1%	79.5%				
Laminat yer kaplamaları	101701202	3.2%	-33.9%	28.3%	-11.8%	-46.4%	-60.8%	-7.0%	-28.4%
Odun lifinden yapılmış levhalar	101702002	7.4%	39.4%	13.4%	50.3%	-41.1%	17.6%	8.5%	2.9%
Natürel/mat eloksallı alüminyum profil	102002002	-14.3%	44.3%	54.5%	13.4%	37.9%	9.1%	2.2%	42.0%
Alüminyum, metal asma tavanlar için-gizli taşıyıcı profil	102003052	-36.0%	-36.2%	60.2%	108.4%	11.5%	55.2%	23.5%	89.0%
Alüminyum, metal asma tavanlar için-gizli taşıyıcı alüminyum kenar c profili	102003053	-25.3%	27.8%	0.0%	-11.7%	-43.5%	-18.2%	-26.0%	8.1%
Alüminyum, metal asma tavanlar için-taşıyıcı ek parçası	102003055	-36.0%	-36.2%	60.2%	108.4%	11.5%	55.2%	23.5%	89.0%
Alüminyum, metal asma tavanlar için-birleşim klipsi	102003056	-36.0%	-36.2%	60.2%	108.4%	11.5%	55.2%	23.5%	89.0%
Alüminyum, metal asma tavanlar için-bastırma klipsi	102003057	-36.0%	-36.2%	60.2%	108.4%	11.5%	55.2%	23.5%	89.0%
Asma tavanlar için askı çubuğu 40cm	102003129	-36.0%	-36.2%	60.2%	108.4%	11.5%	55.2%	23.5%	89.0%
Asma tavanlar için çiftli yay	102003136	-36.0%	-36.2%	60.2%	108.4%	11.5%	55.2%	23.5%	89.0%
Asma tavanlar için çelik dübel (6x45 vida, kovan, I-demir ve somun dahil)	102003137	-36.0%	-36.2%	60.2%	108.4%	11.5%	55.2%	23.5%	89.0%
Alçı sva köşe profili	102003141	-36.0%	-36.2%	60.2%	108.4%	11.5%	55.2%	23.5%	89.0%
Renkli mermer	102401701	69.6%	98.4%	55.7%	21.6%	15.5%	15.5%	270.1%	476.6%
Seramik yer karoları	102403352	0.0%	-11.9%	21.6%	15.5%	-6.9%	-19.2%	-26.3%	-24.5%
Seramik duvar karoları	102403456	51.3%	28.7%	21.6%	15.5%	-16.0%	-12.5%		
Makina siva alçısı	102405506	-37.2%	-37.7%	-13.3%	-17.7%	-27.2%	-30.6%	173.3%	120.0%
Perlitli siva alçısı	102405507	-28.3%	-33.1%	22.2%	-7.7%	5.6%	7.7%	18.9%	9.2%
İnce uygulanabilir alçı (saten alçı)	102405508	-41.1%	46.9%	18.9%	9.2%	-14.4%	21.5%		
Su bazlı mat iç cephe boyası	103001041	-66.9%	49.2%	65.4%	48.4%	-64.9%	-33.6%	-38.1%	-4.1%
Silikon esaslı su bazlı genil/tekstürlü dış cephe kaplaması	103001053	-75.9%	-62.5%	96.7%	-92.0%	-82.4%	-64.3%		
Çimento esaslı karo yapıstırıcı (c1t)	103002201	67.3%	59.9%	25.5%	-25.2%	-62.4%	-69.2%	-68.6%	-66.9%
Çimento esaslı, yüksek performanslı, karo yapıstırıcı (c2te)	103002203	13.9%	-30.1%	25.5%	-25.2%	-62.4%	-69.2%	-68.6%	-66.9%
Çimento esaslı derz dolgusu (cg1)	103002231	31.5%	-2.8%	182.0%	67.4%	290.7%	137.1%		
inorganik menşeli camyünü levha	103301023	-16.2%	-9.3%	3.5%	43.2%	21.3%	51.4%		
inorganik menşeli taşıyıcılı levha	103301541	-89.0%	-84.7%	-52.4%	-29.9%				
Estrüde polistren köpük levhalar (xps)-200 kpa basınç dayanımlı (2kg/cm²)	103302242	5.2%	30.0%	-42.7%	-29.1%	-22.3%	-22.3%		

Çizelge 6.4 (devam) : Konut yapısı malzemeleri için ICE-EPD verilerinin değişim yüzdeleri.

Tanımı	Poz.no	ICE-Tez EPD		ICE-EPD1		ICE-EPD2		ICE-EPD3		ICE-EPD4		ICE-EPD5		ICE-EPD6		ICE-EPD7	
		EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC
Ekstrüde polistren köpük levhalar (xps)-300 kpa basınç dayanımlı (3kg/cm ²)	103302262	5,2%	30,0%	22,0%	-22,1%	-42,6%	-29,0%										
Isı yalıtım levhası yapıştırıcısı (çimento esaslı polimer katkılı)	103302503	44,4%	8,1%	335,3%	134,8%	83,5%	25,3%										
Isı yalıtım levha sıvası (çimento esaslı polimer katkılı)	103302505	60,9%	15,4%	335,3%	134,8%	83,5%	25,3%										
Parke altı şiltesi min. 30 kg/m ³ yoğunlukta (polietilen köpük)	103303501	3,0%	28,0%	512,6%	1106,7%												
Elastomer esaslı polüester keçe tesviyici örtüler	103305171	-89,4%	-88,2%	-35,8%	-43,0%	-56,4%	-71,6%	-65,7%	-78,5%								
Likit asfalt ve koruyucular-bitüm emülsiyonu	103305291	-42,8%	-73,7%	-42,4%	92,0%	-24,9%	114,3%										
Geotekstil keçeler	103306004	215,8%	296,3%	-54,8%	-23,9%												
Jeomembranlar-pvc esaslı, düz tip /şinyal tabakalı	103306013	-58,2%	-53,4%	38,1%	16,6%	-40,7%	-56,3%										
Yalıtım camları-16 mm ara boşluk çitallı (ısı kontrol kaplamalı)-4+4 mm kalınlıkta	103801581	-31,0%	-3,7%	-26,8%	-7,0%	1,6%	19,2%	-79,7%	-20,3%								
Camlama takozu	103809981	-37,7%	-26,5%	-8,3%	53,2%	-16,1%	19,4%										
Metal takviyeli sert pvc doğrama profilleri	104001001	-28,4%	4,8%	-34,2%	-25,8%	-7,7%	15,2%	-30,8%	-12,9%								
Metal takviyesiz sert pvc doğrama profilleri	104001005	-28,4%	-4,8%	-34,2%	-25,8%	-7,7%	15,2%	-30,8%	-12,9%								
Cam conta ve fitilleri	104001021	-14,8%	27,8%	30,8%	92,6%												
Çiviler	104201006	39,4%	82,5%	95,1%	142,9%	204,0%	262,3%										
Galvanizli çivi	104201007	39,4%	82,5%	95,1%	142,9%	204,0%	262,3%										
Geniş başlı galvanizli çivi (shingle çivisi)	104201008	39,4%	82,5%	95,1%	142,9%	204,0%	262,3%										
Çatal çivi	104201009	39,4%	82,5%	95,1%	142,9%	204,0%	262,3%										
Vida ve plastik dübel	104201012	-62,6%	-36,2%	-82,8%	-72,5%												
Kraft kapı dolgu petekleri-32 mm kalınlığında	104201501	-33,7%	22,7%	-73,0%	-59,9%												
Pvc pestilli (1 mm lık)	104201513	-65,2%	61,2%	5,1%	18,3%												

Çizelge 6.4'te Konut yapısı için ICE-EPD verilerinin karşılaştırması verilmiştir. Her bir yapı malzemesi için bütün EPD belgelerinden elde edilen EE ve EC değerlerinin ortalamaları hesaplanmıştır. Bu değerler ile ICE verilerinin değişim ortalaması EE için %11,5 ve EC için %26,4 bulunmuştur. Rastgele seçilerek analizlerde kullanılan EPD belgelerinden elde edilen ortalama değerler ile ICE değerlerinin karşılaştırma sonucu, rastgele EPD seçimi ile yapılacak yaşam döngüsü analizinin ICE verileri ile yapılacak yaşam döngüsü analizinden ortalama EE için %11,5 ve EC için %26,4 bir değişim ile sonuçlanacağını göstermektedir. Bunun yanı sıra tezde yaşam döngüsü analizinde kullanılan EPD verileri ile ICE verileri karşılaştırıldığında EE %-15,8 ve EC %-8,4 oranında sapma gözlemlenmiştir. Karşılaştırma oranları incelendiğinde Derslik yapısında olduğu gibi Konut yapısında da tezde kullanılan EPD belgeleri ile ICE verileri arasında daha yüksek bir çevresel iyileşme gözlemlenmiştir.

En büyük değişimler kaynak kullanımında ikincil kaynak hammaddesi içerebilen malzemelerden oluşmaktadır. Özellikle çelik ürünleri arasında ciddi değişimler gözlemlenmiştir. Her iki yapıda da her bir yapı malzemesi için derlenen bütün EPD belgelerinin ortalamaları ile ICE verileri arasındaki ortalama değişim yakınlık göstermektedir. Bu değişimler EE için ortalama %12,2 ve EC için ortalama %32,8 oranındadır. Bu sapmanın birçok sebebi olabilir. Verinin değerini belirlemeye etki eden kriterlerden biri hammaddedir. Yani malzemenin üretiminde kullanılan ana malzemelerin içerisinde geri dönüştürülmüş ikincil kaynak kullanımının olması durumudur. Bir diğer kriter, hammadde kaynağından üretim tesisine kadar taşıma sırasında kullanılan yakıt miktarı, verimi ve türüdür. Bu doğrudan fosil kaynak kullanımı ile ilgili olduğundan veri sonuçlarını oldukça etkilemektedir. Yapı malzemelerinin üretim sürecindeki farklılıklar, kullanılan enerji türü, üretim tesisinin yaşı sonuçları etkileyebilmektedir. Ayrıca üretim tesislerinin yıllar içindeki değişimi ve enerji elde etme sistemlerindeki değişiklikler bu negatif yönlü etkiyle anlamlandırılabilir.

Derslik ve konut için yapılan karşılaştırmada EPD verilerinin ICE'ye göre çokluk dağılımları hesaplanmıştır. Çizelge 6.3-4'te sonuçları sunulan ICE ve EPD verileri arasındaki değişim yüzdelerinin çokluk dağılımları Çizelge 6.5-8'de sunulmaktadır. Dağılım miktarının hangi yüzde aralığında ne sayıda olduğu iki veri kaynağı arasındaki değişimin büyüklüğü hakkında bilgi vermektedir. Her iki yapı için iki tane dağılım tablosu verilmiştir. Bunlardan biri tez kapsamında yaşam döngüsü analizinde kullanılan EPD belgeleri ile ICE arasındaki fark yüzdeleri dağılımını vermektedir. Diğer, her bir yapı malzemesi için rastsal

şekilde toplanan EPD belgelerindeki değerlerin ortalamaları ile ICE arasındaki dağılımı vermektedir. Örneğin Çizelge 6.3'te Derslik yapısı malzemeleri için iki veri kaynağı arasındaki değişim yüzdeleri verilmiştir. Bu değişim değerlerinin dağılımını belirlemek için %-1000 ila %1000 arası dağılımı ifade eden %-10&%-20, %-20&%-30, %90&%100 gibi 24 farklı aralık oluşturulmuştur. Örneğin Çizelge 6.3'te değişim yüzdesi %-13 olan bir malzeme %-10&%-20 arasındaki dağılımda bulunmaktadır. Benzer işlemler her iki yapı için tamamlanmıştır.

Çizelge 6.5 : Derslik binası için EPD verilerinin ortalaması ile ICE verilerinin çokluk dağılımı.

Veri sapma aralığı (%)	EPD/ICE Dağılım Sayısı		Veri sapma aralığı (%)	EPD/ICE Dağılım Sayısı	
	EE	EC		EE	EC
-1000% ve üzeri	0	0	1000% ve üzeri	0	0
-1000% & -100%	0	2	1000% & 100%	15	18
-100% & -90%	0	0	100% & 90%	3	1
-90% & -80%	3	0	90% & 80%	1	2
-80% & -70%	1	4	80% & 70%	0	2
-70% & -60%	2	0	70% & 60%	0	8
-60% & -50%	6	2	60% & 50%	5	15
-50% & -40%	12	7	50% & 40%	3	6
-40% & -30%	10	4	40% & 30%	1	4
-30% & -20%	9	4	30% & 20%	13	1
-20% & -10%	4	9	20% & 10%	1	6
-10% & 0%	8	6	10% & 0%	9	5

Çizelge 6.6 : Derslik binası YDA'da kullanılan EPD verileri ile ICE verileri arasındaki çokluk dağılımı.

Veri sapma aralığı (%)	EPD/ICE Dağılım Sayısı		Veri sapma aralığı (%)	EPD/ICE Dağılım Sayısı	
	EE	EC		EE	EC
-1000% ve üzeri	0	0	1000% ve üzeri	0	0
-1000% & -100%	0	0	1000% & 100%	3	6
-100% & -90%	0	1	100% & 90%	0	1
-90% & -80%	2	2	90% & 80%	0	7
-80% & -70%	6	1	80% & 70%	0	2
-70% & -60%	9	7	70% & 60%	4	5
-60% & -50%	3	2	60% & 50%	0	3
-50% & -40%	4	3	50% & 40%	1	7
-40% & -30%	20	22	40% & 30%	9	2
-30% & -20%	15	4	30% & 20%	6	8
-20% & -10%	3	2	20% & 10%	3	4
-10% & 0%	10	14	10% & 0%	7	3

Çizelge 6.7 : Konut binası için EPD verilerinin ortalaması ile ICE verilerinin çokluk dağılımı.

EPD/ICE Dağılım Sayısı			EPD/ICE Dağılım Sayısı		
Veri sapma aralığı (%)	EE	EC	Veri sapma aralığı (%)	EE	EC
-1000% ve üzeri	0	0	1000% ve üzeri	0	0
-1000% & -100%	0	3	1000% & 100%	9	9
-100% & -90%	0	0	100% & 90%	1	0
-90% & -80%	1	0	90% & 80%	1	0
-80% & -70%	2	2	80% & 70%	0	0
-70% & -60%	1	0	70% & 60%	0	6
-60% & -50%	4	4	60% & 50%	2	11
-50% & -40%	7	4	50% & 40%	1	2
-40% & -30%	4	5	40% & 30%	1	0
-30% & -20%	8	1	30% & 20%	9	2
-20% & -10%	3	5	20% & 10%	1	4
-10% & 0%	4	8	10% & 0%	8	1

Çizelge 6.8 : Konut binası YDA’da kullanılan EPD verileri ile ICE verileri arasındaki çokluk dağılımı.

EPD/ICE Dağılım Sayısı			EPD/ICE Dağılım Sayısı		
Veri sapma aralığı (%)	EE	EC	Veri sapma aralığı (%)	EE	EC
-1000% ve üzeri	0	0	1000% ve üzeri	0	0
-1000% & -100%	0	2	1000% & 100%	1	1
-100% & -90%	0	1	100% & 90%	0	1
-90% & -80%	2	2	90% & 80%	0	4
-80% & -70%	5	1	80% & 70%	0	0
-70% & -60%	7	5	70% & 60%	3	3
-60% & -50%	1	2	60% & 50%	1	0
-50% & -40%	2	2	50% & 40%	1	5
-40% & -30%	12	17	40% & 30%	5	2
-30% & -20%	9	1	30% & 20%	4	5
-20% & -10%	4	1	20% & 10%	1	1
-10% & 0%	2	7	10% & 0%	6	4

Sonuçlar incelendiğinde tezde yaşam döngüsü analizinde kullanılan EPD verilerinde en çok sapma miktarı pozitif ve negatif %40’a kadar olan aralıkta yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu değer aralık arttıkça azalmaktadır. Bütün EPD belgelerinden elde edilen ortalama değerler ile ICE veri tabanı karşılaştırıldığında bu sapma sayısı daha geniş aralıklarda (pozitif ve negatif %0-60) yoğunlaşmaktadır. ICE değerinden sapma genellikle negatif yönde olmakta yani malzemelerin çevresel etkilerinin azaldığını göstermektedir. Bu kıyaslama literatürde sıklıkla kullanılan ICE veri tabanı ile yapılmıştır ve EPD belgeleri rastsal olarak derlenmiştir. ICE veri tabanındaki hammadde, yakıt türü gibi verilere dikkat edilerek derlenen tez verileri, ICE verilerine daha yakın bir sonuç ve az bir sapma göstermektedir. Her iki yapının EE-EC değerlerinin yaşam döngüsü analizinde kullanılan EPD verileri ile ICE verileri arasındaki sapmanın ortalama değeri EE için %-11,5 ve EC için %9,55 olarak belirlenmiştir. Ayrıca EPD ortalamaları ile yapılan karşılaştırmalar

malzemelerin EE-EC değerleri arasında önemli ölçüde değişimin olabileceğini göstermektedir. Bu oranlar ICE verileri ile kıyaslama yapılarak belirtilmektedir. ICE veri tabanının oluşum kriterleri Bölüm 2.3'te anlatılmıştır.

Hem ICE hem de EPD verileri yaşam döngüsü analizi ile elde edilen sonuçları temsil etmektedir. Bu analiz süreci ve yöntemi standartlarda belirtilmiştir. EPD verileri, bir malzeme için birden çok sayıda elde edilebilir. ICE veri tabanı ise EPD gibi belgelerin derlenerek belirli kriterlere dikkat edilmesiyle elde edilmektedir. YDA, her iki veri kaynağının temelini oluşturmaktadır. Bu sebeple YDA sürecinde kabul edilen sistem çerçevesi ve kaynaklar aslında verinin değerini belirlemektedir. Bir yapı malzemesi için oluşturulan EPD belgesi, tek bir veri değerini temsil etmektedir. ICE veri tabanı bir malzeme için birden fazla belgenin belirli kriterlere olabildiğince uygun değerler seçilmesinin amaçlanması ile oluşmuştur. Fakat, uygun olmayan bir kriterin varlığında elde olan veri kabul edilir. Örneğin veri kaynağı olarak Birleşik Krallık bir kısıt olarak seçilmiş fakat yetersiz veriden dolayı farklı coğrafi bölgelerdeki çalışmalar kullanılmıştır. YDA'da verinin değerini belirlemeye etki eden kriterlerden biri malzemenin üretiminde kullanılan temel malzemelerin içerisinde geri dönüştürülmüş ikincil kaynak kullanımının olması durumudur. Bir diğer kriter, hammadde kaynağından üretim tesisine kadar taşıma sırasında kullanılan yakıt miktarı ve türüdür. Bu doğrudan fosil kaynak kullanımı ile ilgili olduğundan veri sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

EPD ve ICE veri tabanları benzer yapı malzemeleri için karşılaştırıldığında farklılıkların gözlemlenmesinin temel sebepleri açıklanmıştır. Malzeme üretimindeki çeşitlilik dikkate alındığında bu farklılıkların oluşması doğaldır. Ancak yapıların çevresel etkilerini belirlemek için bir veri kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada yapılması gereken, standartlara uygun olarak hazırlanan verilerin kullanımında çalışmanın sınırları, kabulleri, hammadde özellikleri gibi tüm kriterleriyle açık bir şekilde belirtilmesidir. Bu şekilde EPD belgeleri de yapıların çevresel performans göstergelerini hesaplamada kullanılabilir. Bu durum araştırmacıların karşılaştırma yapmasına ve veriler arasında ilişki kurabilmesine yardımcı olacaktır.

6.1.2 EPD-EPD karşılaştırması

Çalışmanın bu bölümünde, iki örnek yapının farklı EPD belgeleri ile toplam EE ve EC değerleri belirlenerek farklı EPD belgelerinin yapının toplam EE ve EC değeri üzerindeki etkisi ile yapının EE ve EC değerlerinin değişkenliği Monte Carlo analizi yardımı ile belirlenmiştir. Her bir yapı malzemesi için atanabilecek çevresel etki değeri sayısı ilgili

malzemeye atanan EPD belgesi sayısına eşittir. Bu ihtimallerin oluşturduğu çözüm uzayının değeri derslik için $1,15E+65$ ve konut için $8,65E+39$ ' dur. Belirtilen sayıda çözüm yapılamayacağı için olasılıksal bir yöntem olan Monte Carlo Simülasyonu uygulanmıştır. Elektronik tablo temelli bir uygulama ile hazırlanan kod bloğu yardımıyla analizler yapılmıştır. Uygulama, pozlara EPD belgelerini rastsal olarak atayarak her atama sonucu yapı malzemelerinin toplam EE-EC değerini kaydetmektedir. Analizler 5 bin, 10 bin, 25 bin örnekleme her biri için 10'ar defa ve 50 bin örnekleme analiz 1 tekrar yapılarak analizler tamamlanmıştır.

Malzemeler üzerindeki bahsedilen değişkenliğin etkisinin gözlemlenmesi ile yaşam döngüsü analizinde farklı EPD belgelerinin sonuca etkisi araştırılmıştır. EPD belgeleri malzemelerin metraj değerleriyle eşleştirilerek, değişkenliğin yapının toplam gömülü karbon ve gömülü enerji üzerindeki etkisi ölçülmüştür. Analizin sonucunda yapının EE-EC değerlerinin ortalaması, standart sapması, maksimum ve minimum değerleri hesaplanmıştır. Hesap sonuçları Derslik için Çizelge 6.9'da önce EE sonuçları ve devamında Çizelge 6.10'da EC sonuçları şeklinde verilmiştir. Konut için analiz sonuçları Çizelge 6.8'de sunulmuştur. Bu hesaplamaların yanı sıra analizlerdeki EE-EC değerleri arasında korelasyon da bulunmuştur.

Derslik yapısı analiz sonuçları Çizelge 6.9-10'da sunulmaktadır. Çizelgede sunulan değerler her bir Monte Carlo Simülasyonu sonucunda 5 bin, 10 bin, 25 bin ve 50 bin örneklem sonuçlarının her biri için elde edilen ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri temsil etmektedir. Yapılan analiz, yapının EE ve EC sonuç ortalamalarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Farklı EPD'ler ile yapılan analiz sonuçları incelendiğinde standart sapmanın ortalamaya göre yüzde kaçlık bir değişim gösterdiğini veren varyasyon katsayıları EE değerinde %11,58 ve EC değerinde %8,86 yayılım göstermiştir. Bu değerler bir yapının çevresel etkilerini hesaplamak için rastsal olarak EPD kullanımının EE-EC sonuçlarını ne kadar etkileyeceğini vermektedir.

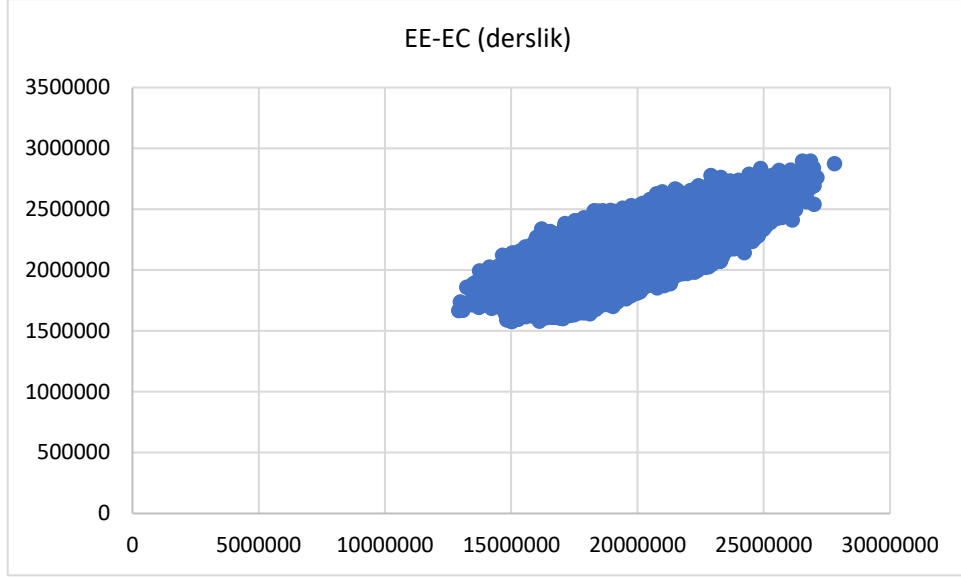
Çizelge 6.9 : Derslik yapısı Monte Carlo Simülasyonu EE analizi sonuçları.

Örnekleme sayısı	Analiz no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	ortalama	19329580,3	19290552,6	19279190,7	19359328,7	19343084,3	19357216,8	19373443,9	19335705,3	19336830,2	19264003,5
	std_sapma	2218362,9	2225754,7	2267137,6	2214058,9	2252525,9	2269236,2	2234052,4	2227050,3	2250004,1	2220793,1
	min	12882533,7	13108581,6	13459747,1	13178312,6	13186656,1	13080155,3	13261054,3	13602742,1	13426889,1	13368542,2
	mak	26923127,2	26517883,8	27368404,3	26466516,4	26630515,2	27341985,5	27383406,2	27512747,9	26726647,2	26696595,1
10000	ortalama	19310066,5	19319259,7	19350150,6	19354574,6	19300416,9	19328425,7	19306718,6	19313238,0	19331512,9	19333322,1
	std_sapma	2222147,5	2241113,6	2260907,5	2230633,9	2235742,9	2238998,5	2244894,6	2231282,8	2230182,0	2245284,7
	min	12882533,7	13178312,6	13080155,3	13261054,3	13368542,2	12983508,6	13478063,8	13378663,6	13227824,2	13062951,7
	mak	26923127,2	27368404,3	27341985,5	27512747,9	26726647,2	26793779,4	27085400,5	27470309,9	26516790,1	27915773,6
25000	ortalama	19308479,8	19335454,3	19329822,8	19294952,7	19342229,8	19323647,1	19331506,4	19305177,0	19344487,6	19334936,0
	std_sapma	2258181,0	2247568,2	2224750,9	2240566,9	2234682,5	2249671,0	2234562,7	2243383,4	2235091,9	2233328,5
	min	13180344,9	13333408,4	13344316,8	13268528,8	13117194,5	13125625,6	13278619,2	13245876,9	13136326,3	13201510,5
	mak	27244036,4	27264210,3	27214115,8	27494554,6	26879378,8	27443844,0	27673695,2	27533202,3	27310550,6	27640044,0
50000	ortalama	19335280,6									
	std_sapma	2236540,2									
	min	12919477,4									
	mak	27793088,6									

Çizelge 6.10 : Derslik yapısı Monte Carlo Simülasyonu EC analizi sonuçları.

Örnekleme sayısı	Analiz no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	ortalama	2113023,7	2105959,7	2109567,4	2116578,9	2111874,8	2114823,9	2113648,9	2111226,4	2112254,6	2106413,1
	std_sapma	185173,4	185978,5	189200,5	186738,4	187056,5	188455,9	187097,2	187136,4	186954,6	184915,3
	min	1597706,5	1624755,7	1526776,8	1585488,1	1594996,5	1603379,3	1549966,2	1607427,0	1541977,7	1596159,8
	mak	2793659,2	2717394,2	2804783,8	2784301,9	2774917,8	2821936,9	2861894,6	2811193,5	2801885,7	2839901,0
10000	ortalama	2109491,7	2113073,1	2113349,3	2112437,7	2109333,8	2110132,2	2111302,4	2111341,6	2110456,6	2112519,9
	std_sapma	185610,0	188006,2	187763,3	187120,7	185960,7	187676,9	188740,3	184564,5	187107,9	188796,0
	min	1597706,5	1526776,8	1594996,5	1549966,2	1541977,7	1560513,6	1593318,5	1573197,8	1545250,1	1596748,5
	mak	2793659,2	2804783,8	2821936,9	2861894,6	2839901,0	2803856,3	2845141,7	2880530,9	2791999,1	2915402,6
25000	ortalama	2111232,7	2111108,9	2111336,2	2109871,1	2111939,5	2113535,3	2112085,1	2110150,0	2111398,5	2111345,4
	std_sapma	187317,4	186393,1	185724,9	187016,4	186931,1	187499,4	186517,8	187876,3	187300,2	187741,2
	min	1582599,8	1579855,4	1558586,6	1591141,8	1558749,0	1590994,2	1562578,3	1572435,6	1573678,4	1581354,0
	mak	2843357,9	2811161,9	2886697,9	2817674,3	2846249,9	2828177,2	2861251,5	2830339,5	2855543,9	2897480,1
50000	ortalama	2112861,3									
	std_sapma	188070,2									
	min	1578114,8									
	mak	2896692,9									

50 bin deneme yapılan analizden elde edilen EE ve EC değerlerinin saçılım grafiği Şekil 6.1’de sunulmaktadır. Elde edilen EE ve EC değerleri arasındaki korelasyon 0,7312 bulunmuştur. Elde edilen korelasyon katsayısı ve saçılım grafiği EE ve EC değerleri arasında pozitif bir ilişimin olduğunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 6.1 : Derslik yapısı EE ve EC korelasyonu.

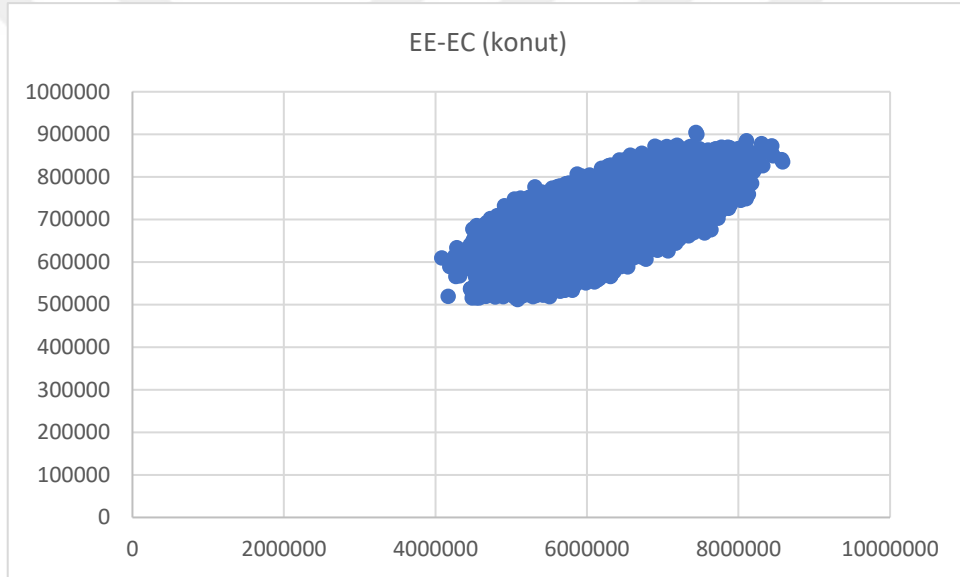
Simülasyonun işlem adımları Konut yapısı için tekrarlanmış ve sonuçlar Çizelge 6.11-12’de verilmiştir. Değerler incelendiğinde sonuçların derslik yapısına benzer şekilde birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmektedir. Farklı EPD’ler ile yapılan analiz sonuçları incelendiğinde EE değeri %11,10 ve EC değeri %8,9 değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Bu değerler bir yapının çevresel etkilerini hesaplamak için rastsal olarak EPD kullanımının EE-EC sonuçlarını ne kadar değiştireceğini göstermektedir. Ayrıca konut için EE ve EC değerleri arasındaki korelasyon 0,6623 bulunmuştur. Saçılım grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.11 : Konut yapısı Monte Carlo Simülasyonu EE analizi sonuçları.

Örnekleme sayısı	Analiz no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	ortalama	6027043,3	6024242,1	6009475,1	6005912,9	6000966,6	6006405,7	6004120,4	6015505,8	6027043,3	6024242,1
	std_sapma	660790,7	659071,5	677354,3	663045,8	670949,3	673803,2	659476,2	680709,1	660790,7	659071,5
	min	4253105,3	4083035,1	4232887,9	4164422,0	4268605,0	4220745,9	4254243,1	4237176,4	4253105,3	4083035,1
	mak	8214282,6	8319279,0	8226160,6	8317959,0	8581342,8	8114452,5	8441489,2	8567903,3	8214282,6	8319279,0
10000	ortalama	6025642,7	6007694,0	6003686,1	6009813,1	6015582,9	6015453,5	6012476,3	6005706,0	6018119,3	6011804,9
	std_sapma	659933,1	670240,6	672383,3	670200,9	669437,0	667938,8	670787,3	667021,1	674522,8	668371,9
	min	4083035,1	4164422,0	4220745,9	4237176,4	4261294,3	4187810,5	4215671,8	4241771,8	4143042,5	4343630,2
	mak	8319279,0	8317959,0	8581342,8	8567903,3	8173555,2	8410060,3	8280010,5	8304694,6	8435861,4	8504050,1
25000	ortalama	6011237,5	6014108,9	6009356,1	6010937,3	6010671,4	6013095,6	6008152,1	6007793,0	6014374,5	6013919,0
	std_sapma	668474,6	671088,3	667753,8	663698,3	664057,9	668013,1	664675,6	664200,4	667933,6	665127,3
	min	4187810,5	4143042,5	4051524,0	4051157,2	4324809,2	4189014,8	4239899,9	4265954,5	4208482,8	4113482,2
	mak	8410060,3	8504050,1	8348156,1	8414168,7	8301420,6	8364001,3	8376905,2	8434186,4	8380493,3	8439333,1
50000	ortalama	6012519,2									
	std_sapma	668529,6									
	min	4083035,1									
	mak	8581342,8									

Çizelge 6.12 : Konut yapısı Monte Carlo Simülasyonu EC analizi sonuçları.

Örnekleme sayısı	Analiz no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5000	ortalama	665799,0	665303,7	664066,3	663024,9	663049,5	664399,9	663656,3	664518,4	665799,0	665303,7
	std_sapma	58657,3	59344,0	59129,2	59301,2	59291,9	59872,6	58049,2	59267,4	58657,3	59344,0
	min	515403,5	518470,9	523315,6	519324,0	515785,1	518552,3	512112,9	517500,5	515403,5	518470,9
	mak	885036,0	878289,4	903926,8	869976,5	870843,2	899492,2	874230,4	872702,3	885036,0	878289,4
10000	ortalama	665551,4	663545,6	663724,7	664087,3	663742,7	664158,1	663745,8	664546,3	664028,0	663811,0
	std_sapma	59002,2	59217,5	59586,8	58663,0	58774,6	59650,8	59120,7	59170,4	59409,1	59178,1
	min	515403,5	519324,0	515785,1	512112,9	515266,8	505003,1	504012,1	505553,7	518822,7	518583,0
	mak	885036,0	903926,8	899492,2	874230,4	871964,0	876328,7	884017,1	872655,4	872358,4	878981,5
25000	ortalama	663946,5	664162,7	664492,1	664522,3	663909,8	663958,8	663910,4	663915,9	665043,9	664363,5
	std_sapma	59382,6	59243,4	59321,6	59126,6	58707,1	59321,7	58884,4	58998,4	59404,4	59101,6
	min	504012,1	518583,0	507666,6	517555,5	520133,2	514756,2	508961,5	506708,8	518844,1	507918,1
	mak	884017,1	878981,5	875862,1	877482,5	879640,4	897097,6	892444,2	888868,3	886905,8	903977,9
50000	ortalama	664130,5									
	std_sapma	59053,0									
	min	512112,9									
	mak	903926,8									



Şekil 6.2 : Konut yapısı EE ve EC korelasyonu.

Yapılan iterasyon sayısının yeterli olduğunu belirlemek için her iki yapı için de uygunluk analizi yapılmıştır. Çizelge 5.13’te verilen eşleştirilmiş örnekler için %95 anlamlı aralıkta çift yönlü olarak yapılan bağımlı t testi için eşik değeri 1,960 olarak belirlenmiştir. Yapılan t testlerinin sonuçları, iterasyon sayısının değişkenliği ölçmede yeterli olduğunu göstermektedir. 3 değer hariç bütün sonuçlar eşik değerin altında kalmıştır ve t-testi sonuçlarına göre tekrar edilen Monte Carlo simülasyonları %95 olasılıkla aynı sonucu vermektedir.

Çizelge 6.13 : Uygunluk analizi sonucu.

Yapı türü	Tekrar/iterasyon sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Derslik	EC-5000	1,882	-0,959	-1,850	1,247	-0,786	0,313	0,644	-0,274	1,590
	EC-10000	-1,349	-0,104	0,345	1,176	-0,304	-0,435	-0,015	0,336	-0,776
	EC-25000	0,074	-0,137	0,874	-1,237	-0,954	0,866	1,160	-0,744	0,032
	EE-5000	0,873	0,252	-1,767	0,359	-0,314	-0,359	0,842	-0,025	1,623
	EE-10000	-0,290	-0,974	-0,139	1,706	-0,889	0,683	-0,207	-0,578	-0,057
	EE-25000	-1,329	0,281	1,735	-2,367	0,930	-0,393	1,318	-1,959	0,478
Konut	EC-5000	0,417	1,032	0,878	-0,021	-1,135	0,634	-0,735	-1,083	0,417
	EC-10000	2,397	-0,213	-0,437	0,415	-0,492	0,491	-0,955	0,621	0,260
	EC-25000	-0,407	-0,621	-0,057	1,160	-0,092	0,091	-0,010	-2,139	1,280
	EE-5000	0,211	1,092	0,265	0,375	-0,406	0,171	-0,851	-0,867	0,211
	EE-10000	1,911	0,422	-0,646	-0,607	0,014	0,317	0,711	-1,306	0,659
	EE-25000	-0,480	0,793	-0,266	0,045	-0,408	0,830	0,060	-1,101	0,076

6.2 Yapıların Yaşam Döngüsü Analizi

Bu bölümde Derslik ve Konut yapılarının başlangıç tasarımına göre çevresel etki kriterleri, maliyet ve enerji ihtiyacı hesapları verilmektedir. Bu hesapların sonuçları bir sonraki bölümde (Bölüm 6.3) yapılacak analizlere referans olacaktır.

6.2.1 Çevresel etki göstergeleri ve maliyet hesabı

Yapıların yapı malzemelerinden kaynaklanan çevresel etki göstergeleri ve maliyeti A1-2-3-5 ve A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemleri için hesaplanmıştır.

Çizelge 6.14'te yapıların başlangıç tasarımına göre maliyet ve çevresel gösterge değerlerinin hesap sonuçları verilmiştir. Derslik yapısı için 1 numaralı satır, yapı malzemelerinin faydalı ömürlerinin etkisinin dahil edilmediği 'üretim ve kurulum' yaşam dönemindeki birim alana düşen hesap kriterlerinin sonuçlarını temsil etmektedir. 2 numaralı satır ise malzemelerin faydalı ömürlerinin etkisinin dahil edildiği 'üretim, kurulum ve kullanım' yaşam dönemi sonuçlarını birim alan için vermektedir. 3 numaralı satırda iki yaşam dönemi arasındaki birim alana etkiyen fark verilmiştir. 4 numaralı satır iki yaşam dönemi arasındaki değişim yüzdesini diğer bir ifadeyle B3-4-5 yaşam döneminin birim alana etki yüzdesini vermektedir. Bu sıralama Konut için de 5-6-7 ve 8 numaralı satırlarda verilmiştir. Bunun yanı sıra iki yapı arasında birim alana düşen çevresel etki gösterge ve maliyet farkı iki yaşam dönemi için sırasıyla 9 ve 10 numaralı satırlarda gösterilmektedir. Başlangıç yapı tasarımına göre her iki yaşam dönemi için çevresel etki göstergelerinin ve maliyetin bütün yapı malzemelerine göre hesaplandığı analizin detaylı çizelgeleri Derslik için **Ek D**'de ve Konut için **Ek G**'de sunulmaktadır. Eklerde sunulan tablolarda her bir iş

kaleminin 8 kriteri için hesaplama sonuçları vardır. Ayrıca her bir iş kaleminin bütün yapıda her bir kriteri etkileme yüzdeleri de verilmiştir.

Çizelge 6.14 : Analiz edilen yapıların başlangıç tasarımlarına göre hesap kriterlerinin sonuçları.

			Maliyet (\$/m ²)	GWP (KgCO ₂ eş/m ²)	ODP (KgCFC11 eş/m ²)	AP (mol H+ eş/m ²)	EP (KgP eş/m ²)	POCP (KgNMVOC eş/m ²)	ADPE (KgSb eş/m ²)	ADPF (MJ/m ²)
1		YD: A-1-2-3-5	3,01E+02	4,52E+02	3,22E-05	1,88E+00	1,07E-01	6,73E-01	4,07E-03	4,14E+03
2	Derslik	YD: A-1-2-3-5 + B3-4-5	4,03E+02	5,21E+02	4,09E-05	2,27E+00	1,30E-01	8,59E-01	5,96E-03	5,27E+03
3		Dönemler arası birim fark	101,66	68,94	0,00001	0,39	0,02	0,19	0,00189	1129,25
4		Değişim yüzdesi	25,25%	13,2%	21,3%	17,1%	17,4%	21,6%	31,8%	21,4%
5		YD: A-1-2-3-5	1,58E+02	2,31E+02	1,53E-05	8,61E-01	4,55E-02	2,93E-01	1,77E-03	2,18E+03
6	Konut	YD: A-1-2-3-5 + B3-4-5	2,66E+02	2,71E+02	2,03E-05	1,06E+00	5,56E-02	4,07E-01	2,35E-03	2,80E+03
7		Dönem arası birim fark	108,05	39,89	0,00001	0,20	0,01	0,11	0,00058	620,99
8		Değişim yüzdesi	41%	15%	25%	19%	18%	28%	25%	22%
9	İki yapı	YD: A-1-2-3-5	142,90	221,00	0,00002	1,02	0,06	0,38	0,00230	1960,00
10	arasındaki fark/m ²	YD: A-1-2-3-5 + B3-4-5	136,56	250,00	0,00002	1,21	0,07	0,45	0,00361	2470,00

*YD: Yaşam dönemi.

Derslik ve Konut için ‘üretim ve kurulum’ yaşam dönemi hesaplarında GWP, Derslik için birim metrekareye 452 kgCO₂ ve konut için birim metrekareye 231 kgCO₂ olarak belirlenmiştir. ‘Üretim, kurulum ve kullanım’ yaşam dönemi hesaplarında GWP birim metrekareye, derslik için 521 kgCO₂ ve konut için 271 kgCO₂ olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar literatür ile uyumludur. Örneğin Rodrigues vd. (2018), endüstriyel bir binanın gömülü karbon değerini 508,57 kgCO₂/m² ve gömülü enerjisini 4908,68 MJ/m² olarak belirlemişlerdir. De Wolf (2014) 200 mevcut binanın GWP aralığını 200 ila 700 kgCO₂ olduğunu belirtmiştir.

Sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde yapının kullanım döneminde çevresel etki ve maliyetinde yapı malzemelerinin tekrarlı kullanımı %13-41 arasında bir etki göstermektedir. Bu da yapı malzemelerinin faydalı ömürlerinin uzun olmasının önemini göstermektedir. Analiz sonuçları küresel literatürle karşılaştırıldığında yoğun olarak benzer aralıkta sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar AP, EP, ADPF için de benzerdir. Fakat diğer kriterlerin her biri için karşılaştırılabilir çoklukta kaynak bulmak oldukça zordur. Bundan dolayı diğer göstergelere kıyasla daha fazla çalışmaya sahip olan karbon göstergesi temel kıyaslama ölçütü kabul edildiğinde sonuçlar kabul edilebilir aralıktadır.

Yapının gömülü çevresel etkilerini hesaplariken hangi mahallerin, analize dahil edildiği sonucu etkilemektedir. Örneğin yapı temelini inşaa işlemleri, malzeme yoğun bir süreci barındırmaktadır. Bunun analize dahil edilmesi kriterin birim alan başına düşen

miktarını arttırmaktadır. Bu gibi değişkenler göz önünde bulundurularak karşılaştırma yapılması gerekmektedir.

Bunun dışında, bu çalışmada hesaplanan yaşam döngüsünün A5 aşaması yani ‘kurulum’ aşaması için literatürde yeterli bilgi yoktur. A5 aşaması, genellikle yapıda kurulum esnasında tüketilen elektrik enerjisi ve malzeme olarak ikiye ayrılmaktadır. Malzeme için bu çalışmada önerilen yöntem kullanılabilir. Yapıda kullanılan iş kalemlerinin tarifleri kullanılarak, bu iş kalemini yapmak için gereken malzeme miktarları hesaplanabilir. Örneğin, 1 m² tuğla duvar inşa etmek için gereken harç, su, çimento gibi tamamlayıcı malzemelerin miktarlarının belirlenerek, kurulum için gereken malzemeler de yüksek doğrulukta ölçülebilir. Ayrıca B1-2 yani ‘kullanım ve bakım’ aşamaları hesaplama belirsizliğinden dolayı genellikle ihmal edilir. Bunun dışında B3-4-5 aşamaları yani yapının kullanım döneminde açığa çıkan imalat yenilemelerinin etkisinin hesaplandığı çalışmalar hakkında da yeterli bilgi yoktur. Bu çalışmada kullanılan EPD belgelerinden ve malzeme üreticilerinden elde edilen malzemelerin faydalı ömürleri dikkate alınarak, B3-4-5 yaşam dönemi için hesaplamalar yapılmıştır. Malzeme süreleri değişkenlik gösterse de çalışmada, malzemelere atanan faydalı ömür sürelerinin en yüksek olması hedeflenerek, B3-4-5 yaşam döneminin minimum etki yüzdesi araştırılmıştır (%13-41).

İki yapı arasında birim alana düşen maliyet ve çevresel etkiler konutta daha azdır. Bu durum yapıyı oluşturan temel yapı malzemelerinden kaynaklanmaktadır. Derslik yapısında alüminyumdan imal edilen yapı malzemelerinin miktarı oldukça fazladır. Alüminyum kökenli malzemelerin çevresel etkisi yüksek olduğundan derslik yapısının çevresel etki sonuçları yüksek çıkmıştır. Ayrıca döşeme kaplaması, pencere tercihi de oldukça etkilidir. Derslikte pencereler alüminyum doğramadan, konutta ise PVC doğramadan oluşmaktadır. Çevresel etki hammadde açısından ele alındığında en yüksek etkiyi alüminyumdan sonra polimer türevleri yani PVC, PP, PE gerçekleştirmektedir. Bunun yanı sıra birim alana düşen pencere miktarı derslik binasında daha fazla olduğundan bu durum sonuçları doğrudan etkilemiştir. Zemin kaplamaları konut için genellikle ıslak hacimlerde karo/fayans ve diğer mahallerde parkedir. Bu durum derslik için karo, mermer, PVC şeklinde değişmektedir. Malzemelerin kullanım miktarları ve süresi de maliyet ve çevresel kriterlerin hesap sonuçları üzerinde etkilidir. Örneğin PVC zemin kaplama malzemelerinin hem kullanım ömrü az hem de çevresel etkisi yüksek olduğundan, malzeme küçük bir alanda uygulansa dahi hesap sonuçlarında belirgin farklılıklar oluşturmaktadır. Derslik yapısında kullanılan PVC zemin malzemesinin verileri incelendiğinde yüksek oranda ikincil malzeme kullanıldığı

belirlenmiştir. Bundan dolayı iki yapı arasındaki belirgin farklara katkısının yüksek olmadığı tespit edilmiştir. Fakat kullanım döneminde sık değiştirilmesi gereken bir yapı malzemesi olduğundan dolayı Derslik yapısında iki yaşam dönemi arasında hesap kriterlerinde değişime sebep olmuştur. Derslik yapısında genellikle alüminyum asma tavan kullanılırken konutta asma tavan olmamasının iki yapı arasındaki farka katkısı yüksektir. Bu eleştirel bakış iki yapı arasında yerine ikame yapı malzemelerin olduğu kalemler için yapılmıştır. Bunun dışında beton ve donatı gibi yerine ikame ürünlerin olmadığı malzemelerin etkisinin oldukça yüksek olduğu analiz sonucunda belirlenmiştir.

Derslik yapısının maliyetini en çok %13,06 oranla donatı etkilemiştir. Bunu beton, kalıp ve doğrama iş kalemleri takip etmektedir. Yapının kullanım aşamasının yaşam döngüsüne eklenmesiyle ortaya çıkan hesap sonuçları dikkate alındığında donatı %9,91 etki oranıyla ilk üçte yer alsa da etkisi azalmaktadır. Bunun sebebi yenilecek yapı malzemelerinin etki oranlarının artışıdır. Buna karo, boya, asma tavan örnek verilebilir. Döşeme kaplamasının (karo) yapının üretim dönemindeki etkisi %3,8'dir ve kullanım döneminin eklenmesiyle bu oran %5,7' ye çıkmıştır. Yenilenmeye tabi olan bütün malzemeler için bu oran artışı gözlemlenmektedir. Su bazlı boya yapımı yapının üretim döneminde %1,32 etkiye sahiptir. Bu iş kaleminin yenilenme süresi 5 yıldır ve bu da yapının 50 yıllık kullanım ömrü boyunca 9 defa boyanmasını gerektirmektedir. Yapının kurulum ve kullanım aşaması birlikte değerlendirildiğinde boyanın etkisi %9,91 ile neredeyse donatının etki yüzdesine (%9,8) eşittir. Hesap kriterlerinin her iki yaşam dönemi için sonuçları incelendiğinde oranlar tasarım aşamasında yapının kullanım dönemine de önem vermek gerektiğini açığa çıkarmaktadır.

Beton, doğrama, donatı ve duvar Derslikte yapının üretim döneminde GWP değerini en çok etkileyen kalemlerdir. GWP'yi en çok etkileyen iş kalemleri yapının kullanım ömrünün dahil edildiği hesaplarda maliyetteki gibi önemli oranlarda değişmemiştir. Fakat etki oranlarının miktarında azalmalar olmuştur. Bunun sebebi yenilecek olan malzemelerin GWP değerinin düşük olmasıdır. Örneğin yapının üretim döneminde betonun GWP'ye etkisi %45,54 iken, üretim ve kullanım dönemleri birlikte değerlendirildiğinde bu etki %39,52 olmuştur.

Derslik yapısının bütün çevresel göstergelerini en çok etkileyen kalemler beton, donatı, doğrama, asma tavadır. Konut yapısı için sonuçlar incelendiğinde asma tavan dışında bu bulgular değişmemiştir. Değiştirilebilir iş kalemlerinden yapıyı en çok

etkileyenlerin alüminyum doğrama, porselen karo, gazbeton, asma tavan, cam ve boya iş kalemleri olduğu belirlenmiştir.

6.2.2 Yapının ısı kaybı ve enerji ihtiyacı hesabı

Yapının çevresel etkilerinin ve maliyetinin hesaplanmasının ardından yapının kullanım ömrü boyunca ihtiyaç duyacağı ısı kaybı ve enerji ihtiyacı hesabı yapılmıştır. Bu bölümde yapının 50 yıllık işletme döneminde ihtiyaç duyacağı enerji miktarı TSE 825'te tarif edilen formüller, hesap yöntemleri ve tablolar yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplama formül ve adımlarına Bölüm 3.5'te verilmektedir. Enerji ihtiyacı hesabı her iki yapı için ayrı başlıklarda verilecektir.

6.2.2.1 Derslik yapısı enerji ihtiyacı hesabı

Çalışmanın bu bölümünde yapının başlangıç durumdaki tasarımına göre ısı ihtiyacı analizi TSE 825'te tarif edilen formüller, hesap yöntemleri ve tablolar kullanılarak hesaplanmıştır. Analizin sonucunda yapının 50 yıllık yaşam döneminde ihtiyacı olan ısı enerjisi belirlenerek enerji maliyeti ve karbon salınımı (GWP) değerleri belirlenmiştir.

Enerji türü olarak doğalgaz tercih edilmiştir. Hesaplamalarda tek hacimli hesap metodu kullanılmıştır. Ayrıca, doğal havalandırma kabulü ile yapı analiz edilmiştir. Binanın bulunduğu Malatya ili 3. ısıtma derece-gün bölgesinde olduğundan dolayı sıcaklık farkı hesaplamalarında iklim sertliğini temsil eden ısı bölgesi olarak üçüncü bölge kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan yapı cephelerinin yönü Şekil 6.3'te belirtilmiştir. Derslik bloğundan başka bir yapıya köprünün olmadığı kabul edilmiştir. Dış yüzeylerdeki kolonların yüzeyine profiller ile tutturulmuş kompozit panel cephe kaplaması da hesaplamalara dahil edilmemiştir.



Şekil 6.3 : Derslik yapısı cephe yönleri.

Analizde öncelikle ısı kaybı ve enerji ihtiyacı hesabında kullanılacak olan temel veriler hesaplanır. Bunlar; yapının dış hava ile teması olan farklı kabuk elemanlarının alanları, yapının toplam alan, yapının brüt hacmi, cam türüne göre 4 ana cephedeki cam

yüzey alanıdır (Çizelge 6.15). Bu alanlar Bölüm 3.3.1’de tanımlanan en az müdahaleyle metrajı vermek için oluşturulan bilgi modellemesi yardımıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 6.15 : Isı kaybı ve enerji ihtiyacı hesabı için gereken temel veriler.

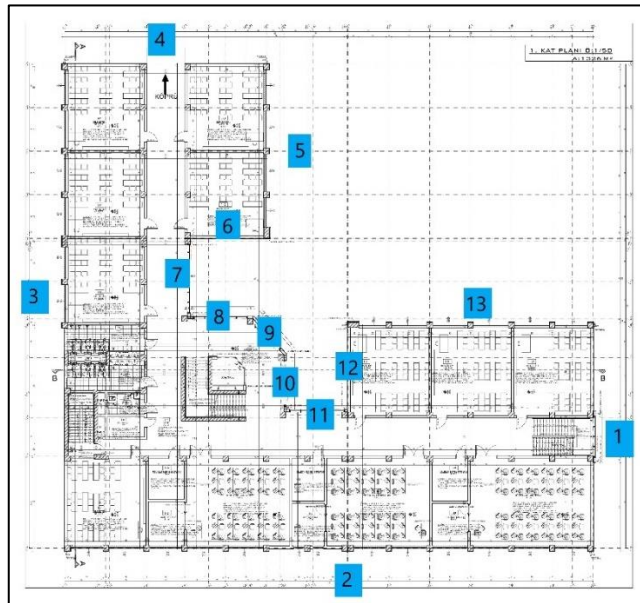
Pencere alanı	508,7 (m ²)
Tavan alanı	1326 (m ²)
Taban alanı	1326 (m ²)
Dış kapı alanı	9,1 (m ²)
A _{top}	3280,285 (m ²)
V _{brüt}	18229,634 (m ³)
A _{top} / V _{brüt}	0,179 (m ² / m ³)
A _n = 0,32 x V _{brüt}	5833,483 (m ²) (A _n : bina kullanım alanı)

Al. Silikon Cephe Kaplama (cam giydirme 6+12+6- temperli+hava+ısıcam) cephe alanları	
A _{güney} =	0 (m ²)
A _{kuzey} =	171,42 (m ²)
A _{doğu} =	300,58 (m ²)
A _{batı} =	0 (m ²)

Al. Doğrama 4+16+4 çift cam (ısıcam+normal) pencere ünitesi cephe alanları	
A _{güney} =	221 (m ²)
A _{kuzey} =	111 (m ²)
A _{doğu} =	57 (m ²)
A _{batı} =	119,7 (m ²)

Toplam cam cephe alanları	
A _{güney} =	221 (m ²)
A _{kuzey} =	282,42 (m ²)
A _{doğu} =	357,58 (m ²)
A _{batı} =	119,7 (m ²)

Analize öncelikle derslik binasının dış hava ile temas halindeki yüzeylerini ve bu yüzeyleri oluşturan katmanları belirleyerek başlanmaktadır.



Şekil 6.4 : Yapının dış yüzeylerinin numaralandırılması.

Şekil 6.4 yapının dış yüzeylerini temsil eden numaraları sunmaktadır. 9 numaralı yüzey ara cepheye denk geldiğinden dolayı hesaplamalarda doğu cephesi olarak kabul edilmiştir ve asma tavan dahil edilmeden hesaplamalar yapılmıştır. Bu duvar elemanlarını oluşturan katmanlar ve bunların kısaltmaları Çizelge 6.16’da verilmiştir.

Çizelge 6.16 : Duvar katmanlarını oluşturan elemanları temsil eden kısaltmalar.

Notasyonlar	Temsil ettiği yapı malzemesi	Notasyonlar	Temsil ettiği yapı malzemesi
a	Kompozit panel (alüminyum) cephe	z	Yalıtım örtüsü (su)
b	Cam giydirme	k	Sıva (alçı)
d	4+16+4 mm cam (ısıcam ve hava)	l	Beton
e	Grenli boya	m	EPS
f	Betonarme	n	Karo
y	Taşyünü ısı yalıtım	g	Gazbeton
p	Çakıl dolgu	t	Kapı
s	Geotekstil keçe	r	XPS
x	Sıva (çimento+kireç)		

Şekil 6.4’te numaraları verilen duvarların her bir yüzeyi farklı malzeme katmanlarından oluşan birden çok kesit içermektedir. Her bir duvarda bulunan farklı dış cephe elemanlarının kesitlerini oluşturan yapı malzemeleri Çizelge 6.16’da sunulan notasyonlar ile Çizelge 6.17’de belirtilmiştir. Çizelge 6.17’de ilk sütun duvar numarasını, ikincisi her bir duvarda farklı yapı malzemelerinden oluşmuş katmanların numaralarını, üçüncüsü her bir kesitin alanını ve diğerleri de kesitleri oluşturan yapı malzemelerini temsil etmektedir. Yapı malzemesi sütunu önce malzemenin kısaltma gösterimini ve ardından malzemenin duvardaki kalınlığını santim ölçü biriminde vermektedir. Yapının tabanında 9 katman yapı malzemesi kullanıldığından dolayı malzemeler tek bir satıra sığmamış birkaç satırda soldan sıralı şekilde verilmiştir. Örneğin Çizelge 6.17’de ilk satırdaki 1 numaralı yüzey ‘1.1-1.2-1.3’ olmak üzere 3 farklı duvar kesitine sahiptir. Duvarı oluşturan katmanlar Çizelge 6.16’da bulunan notasyonlarla aşağıda belirtilmiştir:

- 1.1 numaralı kesit: 0,6 cm kalınlığında alçı sıva (k), 2 cm kalınlığında çimento ve kireç sıva (x), 25 cm kalınlığında gaz beton (g), 2,8 cm kalınlığında çimento ve kireç sıva (x),
- 1.2 numaralı kesit: cam giydirme (b),
- 1.3 numaralı kesit: 1,2 cm kalınlığında çimento ve kireç sıva (x), 5 cm kalınlığında taşyünü ısı yalıtım (y), 50 cm kalınlığında betonarme (f), 1,2 cm kalınlığında çimento ve kireç sıva (x).

Çizelge 6.17 : Dış cephe elemanları, kesitler, yapı malzemeleri ve kalınlıkları.

Dış yüzey no	Kesit no	Alan (m ²)	Yapı malzemesi-1	Yapı malzemesi-2	Yapı malzemesi-3	Yapı malzemesi-4
1	1.1	195	k-0,6 cm	x-2 cm	g-25 cm	x-2,8 cm
	1.2	48	b			
	1.3	17	x-1,2 cm	f-50 cm	y-5 cm	x-1,2 cm
5	5.1	55,39	x-1,2 cm	f-50 cm	y-5 cm	x-1,2 cm
	5.2	81,49	k-0,6 cm	x-2 cm	g-25 cm	x-2,8 cm
	5.3	57	d-1,6 cm			
7	7.1	82	x-1,2 cm	f-50 cm	y-5 cm	x-1,2 cm
	7.2	87,36	b			
13	13.1	76,43	x-1,2 cm	f-50 cm	y-5 cm	x-1,2 cm
	13.2	111	d-1,6 cm			
	13.3	100	k-0,6 cm	x-2 cm	g-25 cm	x-2,8 cm
11	11.1	80	b			
4	4.1	28,42	x-1,2 cm	f-50 cm	y-5 cm	x-1,2 cm
	4.2	220	k-0,6 cm	x-2 cm	g-25 cm	x-2,8 cm
2	2.1	100	x-1,2 cm	f-50 cm	y-5 cm	x-1,2 cm
	2.2	221	d-1,6 cm			
	2.3	327	k-0,6 cm	x-2 cm	g-25 cm	x-2,8 cm
3	3.1	98,21	x-1,2 cm	f-50 cm	y-5 cm	x-1,2 cm
	3.2	72,525	x-1,2 cm	f-30 cm	y-5 cm	x-1,2 cm
	3.3	119,7	d-1,6 cm			
	3.4	2,2	t			
	3.5	301,4	k-0,6 cm	x-2 cm	g-25 cm	x-2,8 cm
8	8.1	91,42	b			
	8.2	8,79	x-2 cm	f-50 cm	x-2 cm	
9	9.1	73,8	b			
	9.2	6,9	t			
10	10.1	91,42	b			
	10.2	8,79	x-2 cm	f-50 cm	x-2 cm	
6	6.1	91,8	k-0,6 cm	x-2 cm	g-25 cm	x-2,8 cm
12	12.1	102	k-0,6 cm	x-2 cm	g-25 cm	x-2,8 cm
Tavan	Kapalı alan	1237	l-10 cm	m-6 cm	f-15 cm	
	Açık alan	65	l-12 cm	m-6 cm	f-15 cm	x-1,2 cm
Taban	Taban	1326	n-2 cm	l-3 cm	f-15 cm	s-0,2 cm
			r-5 cm	p-132 cm	f-60 cm	l-15 cm
			p-10 cm			

Duvar bileşen kodlarına göre duvar kesitleri ve toplam alanları Çizelge 6.18’de sunulmuştur. Örnek yapı 7 farklı düşey dış cephe kesitine sahiptir. Benzer kesite sahip bütün kesitlerin alanı toplanarak Çizelge 6.18’de ikinci sütunda verilmiştir. Üçüncü sütunda ise benzer kesite sahip duvar numaraları belirtilmiştir.

Çizelge 6.18 : Dış cephe elemanları, kesitler, yapı malzemeleri ve kalınlıkları.

Duvar bileşen kodları	Alan (m ²)	Duvar kesit no
k-x-g-x	1418,69	1.1- 5.2- 13.3- 4.2- 2.3- 3.5- 6.1- 12.1
b	472	1.2- 7.2- 11.1- 8.1- 9.1- 10.1
x-f-y-x-0,5	457,45	1.3- 5.1- 7.1- 13.1- 4.1- 2.1- 3.1
d	508,7	5.3- 13.2- 2.2- 3.3
x-f-x	17,58	8.2- 10.2
x-f-y-x-0,3	72,525	3.2
t	9,1	3.4- 9.2

Çizelge 6.19’da binanın özgül taşıma ve doğal havalandırma yolu ile ısı kaybı hesaplanmıştır. Bina ısı kaybına neden olan yapı elemanları tavan, taban, duvarlar, betonarme yüzeyler, pencereler ve dış kapıdır. Her bir yapı elemanının alanı ve onu oluşturan

katmanları tanımlanır. Örneğin duvar yüzeyi 1.1; R_i , sıva, taşıyıcı duvar türü, yalıtım levhası, dış sıva ve $R_d = R_e$ katmanlarından oluşmaktadır. R_i ve R_e : iç ve dış yüzey ısı iletim direncini temsil eden ısı taşınım katsayısıdır.

Katmanları, kalınlıkları ve malzeme türleri belirlenen dış cephe elemanlarının ısı geçirgenlik dirençleri hesaplanır. Isıl geçirgenlik direnci tek tabakalı ve çok tabakalı yapı bileşenlerine göre farklı hesap işlemine sahiptir (TSE 825).

Çizelge 6.14'te en üstteki satır, açıklamak için sütunların numarasını temsil etmektedir. Duvar kesit çeşitleri ve bunları oluşturan yapı malzemelerinin türü birinci sütunda verilmektedir. İkinci sütun her bir yapı malzemesinin kalınlığını temsil etmektedir. Üçüncü sütun TSE 825'ten alınan ısı iletkenlik değerini ve dördüncü sütun ise 'R' ısı iletkenlik direncini verir. Hesaplanan değere yapı elemanının iç ve dış yüzeylerinde oluşan ısı iletim dirençleri eklenerek nihai direnç elde edilir. Daha sonra ısı geçirgenlik katsayısı 'U' hesaplanır. Çizelge 6.12'de alan değerleri verilen kesitler 'U' değeri ile çarpılarak taşınım (iletim) yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesaplanır. Çizelge 6.18'de benzer kesitlere sahip kabuk elemanları sınıflandırılmıştır. Bu elemanların alan değerleri toplanarak iletim ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabı yapılır.

Çizelge 6.19-sütun 7'de gösterildiği üzere iki ısı kayıp türü de hesaplandıktan sonra toplanarak yapının iletim ve havalandırma yoluyla toplam ısı kaybı hesaplanır. Derslik yapısı için iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı 4223,65 W/K ve havalandırma yolu ile kayıp 3850,1 W/K'dır. Toplamda derslik yapısının ısı kaybı 8073,74 W/K olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.19 : Derslik yapısının özgül ısı kaybı hesaplama çizelgesi.

1	2	3	4	5	6	7
Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ (W/mK)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m ² K)	Isı kaybedilen yüzey A (m ²)	Isı kaybı A x U W/K
Duvar yüzeyi 1	R _i		0,130			
	alçı sıva	0,006	0,51	0,012		
	kireç-çimento sıva	0,02	1	0,020		
	gazbeton	0,25	0,2	1,250		
	kireç-çimento sıva	0,028	1	0,028		
	R _e		0,040			
Toplam			1,480	0,676	1418,690	958,727
Duvar yüzeyi 2	R _i		0,130			
	kireç-çimento sıva	0,012	1	0,012		
	betonarme	0,5	2,5	0,200		
	taşıyıcı ısı yalıtım	0,05	0,035	1,429		
	kireç-çimento sıva	0,012	1	0,012		
	R _e		0,040			
Toplam			1,823	0,549	457,450	250,992
Duvar yüzeyi 3	R _i		0,130			
	kireç-çimento sıva	0,012	1	0,012		
	betonarme	0,3	2,5	0,120		
	taşıyıcı ısı yalıtım	0,05	0,035	1,429		
	kireç-çimento sıva	0,012	1	0,012		
	R _e		0,040			
Toplam			1,743	0,574	72,525	41,620
Duvar yüzeyi 4	R _i		0,13			
	kireç-çimento sıva	0,02	1	0,02		
	betonarme	0,5	2,5	0,2		
	kireç-çimento sıva	0,02	1	0,02		
	R _e		0,04			
Toplam			0,41	2,439	17,580	42,878
Tavan döşemesi -kenet çatı	R _i		0,130			
	beton	0,1	1,65	0,061		
	poliüretan ısı yalıtım	0,06	0,04	1,500		
	betonarme	0,15	2,5	0,060		
	R _e		0,080			
Toplam			1,831	0,437	1237,000	540,586
Tavan döşemesi -teraz çatı	R _i		0,130			
	beton	0,12	1,65	0,073		
	poliüretan ısı yalıtım	0,06	0,04	1,500		
	betonarme	0,15	2,5	0,060		
	kireç-çimento sıva	0,012	1	0,012		
	R _e		0,040			
Toplam			1,815	0,551	65,000	35,818
Taban	R _i		0,170			
	karo	0,02	2,8	0,007		
	beton	0,03	1,65	0,018		
	betonarme	0,15	2,5	0,060		
	geotekstil keçe	0,002	0,06	0,033		
	XPS	0,05	0,03	1,667		
	çakıl dolgu	1,32	0,7	1,886		
	betonarme	0,6	2,5	0,240		
	beton	0,15	1,65	0,091		
	çakıl dolgu	0,1	0,7	0,143		
	R _e		0,000			
Toplam			4,315	0,116	1326	153,657
Dış kapı				5	9,1	45,5
Pencere: Duvar yüzeyi 1.2- Silikon Cephe Kaplama (6+12+6-ısıcam+hava) (b)				2,3	472	1085,6
Pencere: Duvar yüzeyi 5.3 (cam yüzeyler)- Al.pencere (4+16+4-ısıcam+hava) (d)				2,1	508,7	1068,27
Yapı elemanlarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =						4223,647
Yapı elemanlarından Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =						3850,099
Taşıyıcı ve Havalandırma (doğal) yoluyla ısı kaybı: H = H _T + H _v =						8073,746

Isı kaybı hesaplanan yapının bir sonraki işlem aşaması hesaplama detayları ilgili yönetmelikte verilen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabıdır. Hesap işlemleri Çizelge 6.20’de sunulmuştur. Çizelgenin ilk satırı sütun numaralarını temsil etmektedir. Birinci sütun zaman periyoduna ve ikinci sütun ise yukarıda hesaplanan binanın özgül ısı kaybına karşılık gelmektedir. Üçüncü sütundaki ısı kaybı hesabı, TSE 825’te EK B.1’de verilen ‘yapı türüne

göre ortalama iç sıcaklık değeri (θ_i -K°C)' ve EK B.2'de verilen 'derece-gün bölgelerine göre ortalama aylık dış sıcaklık değeri (θ_e -K°C)' verilerinin farkının alınmasıyla belirlenir. İç sıcaklık değerinden dış sıcaklık değerinin çıkartılmasıyla elde edilen değerlerde sıfırın altında kalan değerler sadece ısıtma enerjisinin analizi yapıldığı için 'sıfır' kabul edilir. Analizin yapıldığı lokasyon için sıfır değeri alan yani ısıtma ihtiyacı olmayan zamanlar Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Son işlem adımında özgül ısı kaybı ile aylık sıcaklık farklarının çarpılması ile aylık ısı kayıpları (W) hesaplanır. Diğer aşama ısı kazançlarının hesaplanmasıdır. Isı kazançları, aylık ortalama iç kazançlar ($\phi_{i,ay}$) ve aylık ortalama güneş enerjisi kazançlarından ($\phi_{s,ay}$) oluşmaktadır.

Doğrudan güneş enerjisinin katkısının hesaplaması ile pasif enerji hariç güneşten elde edilen kazançlar TSE 825-Çizelge 5'te sunulan gölgelenme faktörü kullanılarak hesaplanır. Bu hesaplamada coğrafi yönler temel alınır. Aylık gölgelenme faktörü ($r_{i,ay}$), saydam elemanların güneş enerjisini iletme katsayısı ($g_{i,ay}$), birim alan başına düşen aylık güneşin ışınım şiddeti ($I_{i,ay}$) ve her bir yöndeki toplam pencere alanı (A_i) hesaplamalarda kullanılır. Hesaplamada cam ile ilgili yapısal detaylar (enerji cam, çift cam, doğrama türü ya da aradaki boşluğun miktarı gibi) dikkate alınır. Güneş enerjisi ve iç enerji kazançlarının toplanması ile yapıdaki toplam ısı kazancı hesaplaması tamamlanmış olur.

Çizelge 6.20 : Derslik yapısının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplama çizelgesi.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H=H_T+H_V$ (W/K)	$\theta_i-\theta_e$ (K, °C)	$H(\theta_i-\theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T=\phi_i+\phi_s$ (W)			
							γ (-)	η_{ay} (-)	Q_{ay} (kJ)
Ocak	8073,746	20,3	163897,036	29167,414	21013,421	50180,835	0,31	0,96	3,00E+08
Şubat		19,9	160667,537		26984,880	56152,294	0,35	0,94	2,79E+08
Mart		15,9	128372,555		33918,432	63085,846	0,49	0,87	1,91E+08
Nisan		9,9	79930,081		39112,762	68280,176	0,85	0,69	8,51E+07
Mayıs		5,6	45212,975		46585,488	75752,902	1,68	0,45	2,89E+07
Haziran		1,5	12110,618		49278,730	78446,144	0,00	0,00	0,00E+00
Temmuz		0	0,000		47879,069	77046,483	0,00	0,00	0,00E+00
Ağustos		0	0,000		44045,443	73212,858	0,00	0,00	0,00E+00
Eylül		2,8	22606,488		35724,778	64892,192	0,00	0,00	0,00E+00
Ekim		8,4	67819,463		27637,594	56805,008	0,84	0,70	7,32E+07
Kasım		14,4	116261,937		20160,394	49327,808	0,42	0,91	1,86E+08
Aralık		18,7	150979,043		18247,968	47415,382	0,31	0,96	2,74E+08
							$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} =$		1,42E+09

Yapının iç ısı kazancı 29167,41 W olarak hesaplanmıştır. Aylık güneş enerjisi kazançları Eşitlik 3.17 ile hesaplanmış ve Çizelge 6.20'nin altıncı sütununda sunulmuştur. Bir sonraki aşamada kazanç kayıp oranı (KKO) hesaplanır. KKO, ısı kazancının ısı kaybına oranı ile hesaplanır. Yönetmeliğe göre KKO değerinin 2,5 ve üzeri olduğu aylarda ısı kaybı

olmadığı kabul edilir. Derslik bloğu için Temmuz ve Ağustos aylarında ısı kaybının olmadığı belirlenmiştir.

Yapının her bir ay için ısıtma enerjisi ihtiyacı yukarıda anlatıldığı gibi hesaplanır. Her bir ay için bu işlemler tekrar edilerek toplanır ve yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenir. Derslik bloğunun yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 1415,87 GJ/Yıl olarak hesaplanmıştır. Yapıda kullanım alanı başına düşen ısıtma enerjisi 67,47 kWh/m²'dir. En çok ısıtma enerjisi Ocak ve Şubat aylarında gereklidir ve Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında ısıtma ihtiyacının olmadığı belirlenmiştir.

6.2.2.2 Konut yapısı enerji ihtiyacı hesabı

Bölüm 6.2.2.1' de Derslik için enerji ihtiyacı analizi detaylı biçimde anlatılmıştır. Konut yapısı için de benzer işlemler tekrar edilerek yapının yıllık ısı kaybı ve enerji ihtiyacı hesaplanır. Konut analizini derslikten ayıran en belirgin fark TSE 825'in belirttiği yapı türleri için aylık iç sıcaklık ortalamasıdır. Bu değer okul binalarında 20 °C ve konutlarda ise 19 °C olarak belirtilmiştir. Yapının kabuk kesitleri **Ek F**'de verilmiştir. Yapıda gazbeton, PVC doğrama (4+4 camlı) kullanılmıştır. Malzeme detayları ısı kaybı hesaplama çizelgesinde sunulmaktadır. Çizelge 6.21'de yapının özgül ısı kaybı hesaplarının detayları ve Çizelge 6.22'de ısıtma enerjisi hesaplarının detayları verilmiştir.

Çizelge 6.21 : Konut yapısının özgül ısı kaybı hesaplama çizelgesi.

Binadaki yapı elemanları		Yapı elemanı kalınlığı d (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ (W/mK)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m ² K)	Isı kaybedilen yüzey A (m ²)	Isı kaybı A x U W/K
Duvar yüzeyler (normal katlar) + (zemin) (25 cm)	R _i			0,130			
	saten alçı siva	0,001	0,51	0,002			
	kireç-çimento siva	0,005	1	0,005			
	duvar	0,250	0,2	1,250			
	çimento siva	0,028	1,6	0,018			
	taşıyünü mantolama	0,000	0,035	0,000			
	kireç-çimento siva	0,028	1	0,028			
R _e				0,040			
Toplam				1,472	0,679	898,23	610,020
Duvar yüzeyler (çatı katı) (20 cm)	R _i			0,130			
	saten alçı siva	0,001	0,51	0,002			
	kireç-çimento siva	0,005	1	0,005			
	duvar	0,200	0,2	1,250			
	çimento siva	0,028	1,6	0,018			
	taşıyünü mantolama	0,000	0,035	0,000			
	kireç-çimento siva	0,028	1	0,028			
R _e				0,040			
Toplam				1,223	0,818	50,99	41,711
Betonarme yüzeyler (zemin, normal ve çatı katı) (düşey elemanlar) (30 cm)	R _i			0,130			
	saten alçı siva	0,001	0,51	0,002			
	kireç-çimento siva	0,005	1	0,005			
	betonarme	0,3	2,5	0,120			
	çimento siva	0,028	1,6	0,018			
	taşıyünü mantolama	0,060	0,035	1,714			
	kireç-çimento siva	0,028	1	0,028			
R _e				0,040			
Toplam				2,057	0,486	109,385	53,184
Betonarme yüzeyler (zemin, normal ve çatı katı) (düşey elemanlar) (60 cm)	R _i			0,130			
	saten alçı siva	0,001	0,51	0,002			
	kireç-çimento siva	0,005	1	0,005			
	betonarme	0,6	2,5	0,240			
	çimento siva	0,028	1,6	0,018			
	taşıyünü mantolama	0,06	0,035	1,714			
	kireç-çimento siva	0,028	1	0,028			
R _e				0,040			
Toplam				2,177	0,459	33,01	15,165
Betonarme yüzeyler (zemin, normal ve çatı katı) (yatay elemanlar) (25 cm)	R _i			0,130			
	saten alçı siva	0,001	0,51	0,002			
	kireç-çimento siva	0,005	1	0,005			
	betonarme	0,25	2,5	0,100			
	çimento siva	0,028	1,6	0,018			
	taşıyünü mantolama	0,06	0,035	1,714			
	kireç-çimento siva	0,028	1	0,028			
R _e				0,040			
Toplam				2,037	0,491	310,8846	152,638
Betonarme yüzeyler (bodrum kat) (perde) (25 cm)	R _i			0,130			
	kireç-çimento siva	0,005	1	0,005			
	betonarme	0,25	2,5	0,100			
	su yalıtımı (membran)	0,003	0,19	0,016			
	geotekstil keçe	0,002	0,06	0,033			
	XPS	0,05	0,035	1,429			
	tuğla duvar	0,0085	0,39	0,022			
R _e				0,000			
Toplam				1,734	0,577	168,12	96,928
Betonarme yüzeyler (bodrum kat) (düşey elemanlar) (30 cm)	R _i			0,130			
	kireç-çimento siva	0,005	1	0,005			
	betonarme	0,3	2,5	0,120			
	su yalıtımı (membran)	0,003	0,19	0,016			
	geotekstil keçe	0,002	0,06	0,033			
	XPS	0,05	0,035	1,429			
	tuğla duvar	0,0085	0,39	0,022			
R _e				0,000			
Toplam				1,754	0,570	15,4	8,777

Çizelge 6.21 (devam) : Konut yapısının özgül ısı kaybı hesaplama çizelgesi.

Binadaki yapı elemanları		Yapı elemanı kalınlığı d (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ (W/mK)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m ² K)	Isı kaybedilen yüzey A (m ²)	Isı kaybı A x U W/K
Betonarme yüzeyler (bodrum kat) (düşey elemanlar) (60 cm)	R _i			0,130			
	kireç-çimento sıva	0,005	1	0,005			
	betonarme	0,6	2,5	0,240			
	su yalıtımı (membran)	0,003	0,19	0,016			
	geotekstil keçe	0,002	0,06	0,033			
	XPS	0,05	0,035	1,429			
	tuğla duvar	0,0085	0,39	0,022			
R _e				0,000			
Toplam				1,874	0,533	12,6	6,722
Tavan döşemesi	R _i			0,130			
	saten alçı sıva	0,001	0,51	0,002			
	kireç-çimento sıva	0,012	1	0,012			
	betonarme	0,15	2,5	0,060			
	camyünü ısı yalıtım	0,100	0,035	2,857			
	R _e			0,080			
Toplam				3,141	0,255	366,156	93,255
Taban	R _i			0,170			
	XPS-ısı yalıtım	0,03	0,03	1,000			
	betonarme döşeme	0,15	2,5	0,060			
	stabilize dolgu	1,2	0,7	1,714			
	radye temel	0,7	2,5	0,280			
	koruma betonu	0,05	1,65	0,030			
	geotekstil keçe	0,002	0,06	0,033			
	XPS-ısı yalıtım	0,030	0,030	1,000			
	su yalıtımı (membran)	0,003	0,19	0,016			
	grobeton	0,1	1,65	0,061			
	blokaj	0,15	0,7	0,214			
	R _e			0,000			
Toplam				4,579	0,109	285,85	31,216
Dış kapı					5	7,35	36,75
Pencere: Al. Doğrama (dükkan cam duvar) 4+16+4 çift cam (ısıcamlı+normal) pencere					2,8	48,63	136,164
Pencere: Pvc Doğrama 4+16+4 çift cam (ısıcamlı+normal) pencere					2,1	263,2	552,72
Yapı elemanlarından iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =							1835,249
Yapı elemanlarından havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı =							1476,996
Taşınım ve Havalandırma (doğal) yoluyla ısı kaybı: H = H _T + H _V =							3312,245

Konutun yıllık iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı 1835,25 W/K ve havalandırma yolu ile kayıp 1477 W/K'dır. Toplamda konut yapısının ısı kaybı 3312,25 W/K ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 587,3 GJ/Yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.22 : Konut yapısının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplama çizelgesi.

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazancı	Güneş enerjisi kazancı	Toplam			
	$H=H_r+H_v$ (W/K)	$\theta_i-\theta_e$ (K, °C)	$H(\theta_i-\theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T=\phi_i+\phi_s$ (W)	γ (-)	η_{ay} (-)	Q_{ay} (kJ)
Ocak	3312,245	19,3	63926,323	11189,361	5046,109	16235,471	0,254	0,981	1,24E+08
Şubat		18,9	62601,425		6533,024	17722,386	0,283	0,971	1,18E+08
Mart		14,9	49352,446		8400,172	19589,533	0,397	0,919	8,12E+07
Nisan		8,9	29478,978		9702,914	20892,276	0,709	0,756	3,55E+07
Mayıs		4,6	15236,326		11832,350	23021,712	1,511	0,484	1,06E+07
Haziran		0,5	1656,122		12577,039	23766,401	0,000	0,000	0,00E+00
Temmuz		0	0,000		12196,030	23385,391	0,000	0,000	0,00E+00
Ağustos		0	0,000		11123,618	22312,980	0,000	0,000	0,00E+00
Eylül		1,8	5962,040		8831,228	20020,590	0,000	0,000	0,00E+00
Ekim		7,4	24510,611		6704,903	17894,264	0,730	0,746	2,89E+07
Kasım		13,4	44384,079		4819,648	16009,009	0,361	0,937	7,61E+07
Aralık		17,7	58626,731		4371,260	15560,622	0,265	0,977	1,13E+08
							$Q_{yıl} = S Q_{ay} =$		5,87E+08

6.3 Çok Kriterli Çevresel Etki ve Maliyet Azaltma Analizleri

Çalışmanın bu bölümünde örnek iki yapının çevresel etkisini azaltmak için yapılan analizler sunulmaktadır. Analizlerin işlem ve kavramsal detayları Bölüm 3.4'te bütün ayrıntılarıyla anlatılmaktadır.

6.3.1 Yapı malzemesi tabanlı çok kriterli çevresel etki ve maliyet azaltma analizi

Analiz, yapı malzemesinin değişimi temelli bir yaklaşımdan oluşan işlem adımlarının akış şeması Şekil 3.7'de sunulmuş ve Bölüm 3.4.1'de detaylı anlatılmıştır. Yapıların başlangıç durumundaki tasarımına göre yapının çevresel etkilerinin her birini ve maliyetini en çok etkileyen iş kalemleri belirlenmiştir. Hesap tabloları Derslik için **Ek D**'de ve Konut için **Ek G**'de sunulmaktadır.

Çevresel performans göstergelerini ve maliyeti azaltmak için bu iş kalemlerine daha düşük çevresel etki değerlerine sahip alternatif malzemeler atayarak her bir çevresel göstergeyi ve maliyeti minimum yapan yapı tasarımı oluşturulur. Oluşan tasarımın çevresel etkileri ve maliyeti hesaplanır. Bu sayede en iyi çözümü sunan tasarım belirlenir. Analizler yapının hem 'üretim+kurulum' yaşam dönemi hem de 'üretim+kurulum+kullanım' yaşam dönemi için belirtilen çerçevede yapılmıştır.

Analiz sonuçlarının aktarımını daha verimli bir hale getirebilmek için analizler sistematik bir çerçevede sunulmaktadır. Öncelikle hesaplamalar her bir yapının 'A1-2-3-5' ve 'A1-2-3-5/B3-4-5' yaşam dönemlerinin her ikisi için yapılmıştır. Bunun sebebi, her iki dönem için hesap kriterlerini en çok etkileyen iş kalemlerinin ve bunların etki yüzdelerinin farklı olabilmesidir. Maliyet ve çevresel etki kriterlerinin her birini iki dönem için de en çok etkileyen değiştirilebilir 5 iş kalemi belirlenir. Bu iş kalemlerine yapının statik durumunu bozmayacak olan alternatif yapı malzemeleri atanır. Bu durumda her bir hesap kriterini azaltan yeni yapı tasarımları oluşmaktadır. Oluşan yeni yapı tasarımları, 8 adet çevresel etki değerlendirme kriteri için atanan malzemeler ile yeniden hesaplanır. Bu hesaplama yeni yapı tasarımları için yapıldığından dolayı, yapının maliyet ve çevresel kriterleri her iki yaşam dönemi için yeniden hesaplanmaktadır. Son olarak yeni yapı tasarımının ısıtma enerjisindeki tüketim miktarı değişimi Bölüm 3.5'te ve Bölüm 6.2.2'de anlatıldığı gibi hesaplanır. Bu işlemler yapıların her iki yaşam döneminde her bir hesap kriteri için yapıldıktan sonra yapılar için yaşam döngüsü matrisleri elde edilir. Bu matrisler yapılan malzeme değişimlerinin faydasını göstermektedir.

Derslik ve Konut yapılarının ‘A1-2-3-5’ ve ‘A1-2-3-5/B3-4-5’ yaşam dönemlerinin her biri için maliyeti ve çevresel göstergeleri en çok etkileyen iş kalemlerinin listesi ve bu kalemlere atanan alternatifler Derslik için **Ek-M**’de ve Konut için **Ek-N**’de sunulmaktadır. Eklerde sunulan çizelgelerde ‘sıra no’ notasyonu yapıların metraj tablosundaki numaralarına karşılık gelmektedir. Malzemelerin tanımı, poz numaraları ile temsil edilmektedir. Ek M-N’de iş kalemlerine sunulan alternatifler, iş kaleminin sıra numarası veya poz numarası ile Derslik için Çizelge 6.25’te ve Konut için Çizelge 6.26’da verilmiştir.

Çizelge 6.23’te A1-2-3-5 döneminin toplam çevresel etki hesabında GWP değerini en çok etkileyen malzemeler verilmiştir. Çizelgede ilk sütunda ‘Sıra no’ ile belirtilen sayılar yapıların metraj listelerindeki notasyonlarıdır. İkinci sütun iş kalemlerinin GWP değerini etkileme oranını vermektedir. Üçüncü sütun iş kaleminin tanımını ve son sütun ise malzemeye atanan alternatifin adını vermektedir (Alt: alternatif). Çizelgede renklendirilen iş kalemleri alternatifi olan iş kalemlerini temsil etmektedir. Diğerleri alternatifi olmayan ya da yapının statüğünde değişikliğe sebep olacak kalemler olduğundan kapsam dışında tutulmuştur. İş kalemleri ikinci sütunda hesap kriterine etki yüzdesine göre azalarak sıralanmıştır. Bunlar arasında değiştirilebilir ilk 5 iş kalemine alternatif atanacaktır. Ayrıca, bir iş kaleminin alternatifi olması, bu iş kalemini seçilen 5 taneden biri yapmamaktadır. Örneğin ahşap kalıbın plywood, sac, tünel kalıp olmak üzere 3 farklı alternatifi vardır. Maliyet kriteri için en iyi değer mevcut seçenek tarafından sunulduğu için bu iş kalemi değiştirilebilir ilk 5 kriter içerisinde yer almamaktadır. Çizelge 6.24’te ise Derslik yapısının A1-2-3-5/B3-4-5 döneminin toplam çevresel etki hesabında GWP değerini en çok etkileyen malzemeler benzer şekilde verilmiştir.

Çizelge 6.23 : Derslik binası GWP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri (A1-2-3-5 dönemi).

	Sıra No	GWP Etki Yüzdesi	Mevcut İş Kalemi Tanımı	Önerilen Alt.No
GWP	41	42,97%	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C35/45 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	-
	13	6,37%	Isı yalıtımlı kumlu mat elektrostatik toz boyalı alüminyum doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması	13/Alt-2
	66	5,51%	Ø14- Ø28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	-
	2	5,27%	60*60 cm ebadında 0.70 mm kalınlığında min.20 mikron elektrostatik toz boyalı (polyester esaslı) delikli alüminyum plakadan (en aw 3000 serisi) gizli taşıyıcı sistem asma tavan yapılması	2/Alt-1
	44	5,15%	20 cm kalınlığındaki teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (g2 sınıfı) (2,50 n/mm ² ve 400 kg/m ³)	44/Alt-3
	45	3,47%	25 cm kalınlığındaki teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (g2 sınıfı) (2,50 n/mm ² ve 400 kg/m ³)	45/Alt-3
	10	3,13%	60 x 120 cm anma ebatlarında, rektifiyeli, her türlü renk, desen ve yüzey özelliğinde, 1.kalite, mat, sırsız porselen karo ile 1 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)	10/Alt-1
	65	2,80%	Ø8- Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	-
	39	2,58%	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C20/25 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	-
	5	2,50%	Kireçli kaba sıva ve üzerine alçı sıva yapılması (sönmüş kireç torbalı)	-
	18	2,26%	Alüminyum silikon cephe kaplama yapılması	-
	58	1,58%	Ahşaptan düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması	58/Alt-2
	17	1,40%	Alüminyum kompozit panel ile cephe kaplama yapılması	17/Alt-2
	91	1,15%	200 kg çimento dozlu tesviye tabakası yapılması	-
	24	1,09%	6 cm poliüretan köpük ısı yalıtımı yapılması	24/Alt-2
	25	1,06%	Titanyum-çinko kenet çatı kaplaması yapılması	25/Alt-4
	62	0,88%	Ahşaptan oturtma çatı yapılması (çatı örtüsü altı tahta kaplamalı)	-
	6	0,72%	Çıplak beton, ince sıva, alçı sıvalı vb. Yüzeylere saten alçı kaplama yapılması	-
	11	0,69%	4 cm kalınlığında mucartalı andezit levha ile döşeme kaplaması yapılması (30cmx60 cm)	11/Alt-2
	76	0,63%	30 x 60 cm anma ebatlarında, rektifiyeli, her türlü renk, desen ve yüzey özelliğinde, 1.kalite, parlak, sırsız porselen karo ile 3 mm derz aralıklı duvar ve cephe kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)	76/Alt-2

Çizelge 6.24 : Derslik binası GWP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri (A1-2-3-5/B3-4-5 dönemi).

	Sıra No	GWP Etki Yüzdesi	Mevcut İş Kalemi Tanımı	Önerilen Alt.No
GWP	41	37,29%	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C35/45 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	-
	13	11,06%	Isı yalıtımlı kumlu mat elektrostatik toz boyalı alüminyum doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması	13/Alt-2
	10	5,42%	60 x 120 cm anma ebatlarında, rektifiyeli, her türlü renk, desen ve yüzey özelliğinde, 1.kalite, mat, sırsız porselen karo ile 1 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)	10/Alt-1
	66	4,78%	Ø14- Ø28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	-
	2	4,57%	60*60 cm ebadında 0.70 mm kalınlığında min.20 mikron elektrostatik toz boyalı (polyester esaslı) delikli alüminyum plakadan (en aw 3000 serisi) gizli taşıyıcı sistem asma tavan yapılması	2/Alt-1
	44	4,47%	20 cm kalınlığındaki teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (g2 sınıfı) (2,50 n/mm ² ve 400 kg/m ³)	44/Alt-3
	45	3,01%	25 cm kalınlığındaki teçhizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (g2 sınıfı) (2,50 n/mm ² ve 400 kg/m ³)	45/Alt-3
	65	2,43%	Ø8- Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	-
	39	2,23%	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C20/25 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	-
	5	2,17%	Kireçli kaba sıva ve üzerine alçı sıva yapılması (sönmüş kireç torbalı)	-
	18	1,96%	Alüminyum silikon cephe kaplama yapılması	-
	58	1,37%	Ahşaptan düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması	58/Alt-2
	73	1,25%	Saten alçılı ve alçı panel yüzeylere astar uygulanarak iki kat su bazlı mat boya yapılması (iç cephe)	73/Alt-1
	17	1,21%	Alüminyum kompozit panel ile cephe kaplama yapılması	17/Alt-2
	76	1,10%	30 x 60 cm anma ebatlarında, rektifiyeli, her türlü renk, desen ve yüzey özelliğinde, 1.kalite, parlak, sırsız porselen karo ile 3 mm derz aralıklı duvar ve cephe kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)	-
	91	1,00%	200 kg çimento dozlu tesviye tabakası yapılması	-
	93	1,00%	Pvc ve alüminyum doğramaya profil ile 4+4 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluklu ilk camı güneş ve ısı kontrol kaplamalı çift camlı pencere ünitesi takılması	93/Alt-1
	24	0,94%	6 cm poliüretan köpük ısı yalıtımı yapılması	24/Alt-2
	25	0,92%	Titanyum-çinko kenet çatı kaplaması yapılması	25/Alt-4
	12	0,91%	Isı yalıtımsız kumlu mat elektrostatik toz boyalı alüminyum doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması	12/Alt-2

Analiz kriterlerinin her biri için sonucu en çok etkileyen alternatifi olan değiştirilebilir 5 iş kalemi belirlendikten sonra, bu kalemlerin alternatifleri oluşturulur. Alternatif oluşturulurken yapının hesap dayanımını etkilemeyen, benzer görevi yerine getirebilecek iş kalemleri seçilmiştir. Örneğin, 20 cm gaz beton yerine 20 cm beton briket veya 20 cm tuğla alternatif iş kalemi olarak belirlenmiştir. Belirlenen alternatiflerin listesi Derslik için Çizelge 6.25'te ve Konut için Çizelge 6.26'da her yapı için kendi metraj listesindeki 'sıra no' notasyonlarına göre verilmiştir. Alternatiflerin verildiği çizelgelerde bir iş kalemi için farklı sayılarda alternatif vardır. Bu alternatifler arasında seçim yapılırken azaltılması amaçlanan hesap kriteri değeri en düşük olan seçilir. Bu 5 iş kalemi için tekrarlanarak ilgili kriterin yeni tasarımı oluşmuş olur.

Derslik yapısı için Çizelge 6.23-24'te GWP kriterini en çok etkileyen değere sahip değiştirilebilir 5 iş kaleminin alternatifleri Çizelge 6.25'ten belirlenir. Örneğin Çizelge

6.23'te sıra no:13 olan 'alüminyum doğrama yapılması' iş kalemi, Çizelge 6.25'te bulunur. Alüminyum doğrama için plastik doğrama ve ahşap doğrama şeklinde 2 alternatif önerilmiştir. Bu iki alternatiften birim GWP değeri en düşük olan ahşap doğrama olduğundan, alüminyum doğrama iş kalemine ahşap doğrama alternatif olarak atanmıştır. Bu sonuç Çizelge 6.23'ün son sütununda '13-Alt-2' şeklinde ifade edilmektedir. Notasyonun açıklaması şu şekildedir; Derslik binası alternatifler tablosunda (Çizelge 6.25) 13 numaralı iş kaleminden en düşük GWP birim değerine sahip olan 2 numaralı alternatif (Alt-2) yeni yapı malzemesi olarak tercih edilmektedir.

Analizlerde çevresel etkisi en yüksek olan yapı malzemeleri beton, donatı, kalıp, alüminyum ve çelik türevi malzemeler olarak sıralanabilir. Etki yüzdeleri değişse dahi bu malzemeler her iki yapı türü için benzerdir. Kalıp türü değişebilir fakat beton ve donatı yapının tasarım değerlerini değiştirdiğinden alternatif atanmayan iş kalemleri arasındadır. Alüminyum ve çelik ise alternatifleri olan malzemeler arasındadır. Aynı zamanda çevresel gösterge değerleri hammadde kullanımında ikincil kaynak kullanımından dolayı belirgin değişiklikler gösterebilmektedir. Bu gibi yapı malzemelerinin etkisi projelerde kullanılan malzemenin özelliklerine göre değişiklik gösterebilir.

Hesap kriterlerini azaltmak için her bir iş kalemine oluşturulan alternatif iş kalemleri Derslik için Çizelge 6.25'te ve Konut için Çizelge 6.26'da sunulmuş ve alternatiflerin çevresel etki değerleri hesaplanmıştır. Alternatifler arasında analiz edilen kriterin çevresel etkisini en çok azaltan iş kalemi ile yapı tasarımı revize edilir. Derslik yapısında 18 iş kalemi için ve Konut yapısında 15 iş kalemi için alternatifler oluşturularak bunların maliyet ve çevresel etkileri hesaplanmıştır. Örneğin porselen karo ile döşeme kaplaması yapılması için PVC esaslı yer döşeme kaplaması yapılması, seramik yer karoları ile döşeme kaplaması yapılması, terrazo karo ile iç mekân döşeme kaplaması yapılması, mermer levha ile döşeme kaplaması yapılması, traverten levha ile döşeme kaplaması yapılması alternatif olarak oluşturulmuştur. Bunun dışında doğrama, duvar türü, mantolama, su yalıtım, cephe kaplaması, boya, cam, kalıp, yer kaplaması gibi iş kalemlerine de alternatifler oluşturulmuştur.

Çizelge 6.25 : Derslik yapısının çevresel etki ve maliyet kriterlerini azaltmak için oluşturulan alternatif iş kalemleri ve birim değerleri.

Sıra no	Faydalı ömür	Poz no	Tanım	Birim	Fiyat (\$)	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF
2	50	155351026	Delikli alüminyum plakadan asma tavan yapılması	m ²	1,88E+01	4,29E+01	2,58E-06	3,33E-01	1,56E-02	1,08E-01	5,36E-04	4,30E+02
Alt-1	50	155301901	Alçı levhalar ile çift iskeletli askı sistemli asma tavan yapılması	m ²	1,38E+01	5,00E+00	4,85E-07	3,90E-02	4,06E-03	1,38E-02	1,11E-04	7,71E+01
Alt-2	50	155351010	Deliksiz sıcak daldırma galvanize sac plakadan oturmali sistem asma tavan yapılması	m ²	1,52E+01	1,73E+01	8,62E-07	1,34E-01	9,07E-03	1,34E-02	4,15E-04	1,93E+02
Alt-3	50	155351025	Deliksiz alüminyum plakadan asma tavan yapılması	m ²	1,78E+01	3,83E+01	2,45E-06	3,00E-01	1,39E-02	1,05E-01	3,65E-04	3,90E+02
Alt-4	50	155351024	Arka yüzü akustik kumaş kaplı delikli galvanize sac plakadan sarkmalı sistem asma tavan yapılması	m ²	1,61E+01	2,72E+01	1,30E-06	2,07E-01	1,42E-02	1,91E-02	6,58E-04	2,95E+02
Alt-5	50	155351032	Arka yüzü akustik kumaş kaplı delikli alüminyum plakadan asma tavan yapılması-30x30cm ebadında	m ²	2,13E+01	2,73E+01	1,44E-06	2,11E-01	1,04E-02	5,44E-02	5,23E-04	2,81E+02
Alt-6	50	155351051	Pvc den yapılmış asma tavan karoları ile asma tavan yapılması	m ²	1,08E+01	7,89E+00	3,26E-07	4,15E-02	1,67E-03	1,78E-02	1,23E-04	1,59E+02
3	50	155351031	Delikli alüminyum plakadan gizli taşıyıcılı sistem asma tavan yapılması	m ²	2,27E+01	2,71E+01	1,44E-06	2,10E-01	1,04E-02	5,44E-02	5,22E-04	2,77E+02
Alt-1	50	155301901	Alçı levhalar ile çift iskeletli askı sistemli asma tavan yapılması	m ²	1,38E+01	5,00E+00	4,85E-07	3,90E-02	4,06E-03	1,38E-02	1,11E-04	7,71E+01
Alt-2	50	155351010	Deliksiz sıcak daldırma galvanize sac plakadan oturmali sistem asma tavan yapılması	m ²	1,52E+01	1,73E+01	8,62E-07	1,34E-01	9,07E-03	1,34E-02	4,15E-04	1,93E+02
Alt-3	50	155351025	Deliksiz alüminyum plakadan asma tavan yapılması	m ²	1,78E+01	3,83E+01	2,45E-06	3,00E-01	1,39E-02	1,05E-01	3,65E-04	3,90E+02
Alt-4	50	155351024	Arka yüzü akustik kumaş kaplı delikli sıcak daldırma galvanize sac plakadan asma tavan yapılması	m ²	1,61E+01	2,72E+01	1,30E-06	2,07E-01	1,42E-02	1,91E-02	6,58E-04	2,95E+02
Alt-5	50	155351032	Arka yüzü akustik kumaş kaplı delikli alüminyum plakadan asma tavan yapılması-30x30cm ebadında	m ²	2,13E+01	2,73E+01	1,44E-06	2,11E-01	1,04E-02	5,44E-02	5,23E-04	2,81E+02
Alt-6	50	155351051	Pvc den yapılmış asma tavan karoları ile asma tavan yapılması	m ²	1,08E+01	7,89E+00	3,26E-07	4,15E-02	1,67E-03	1,78E-02	1,23E-04	1,59E+02
10	30	153901008	Porselen karo ile 3 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması	m ²	1,48E+01	1,80E+01	2,68E-06	4,17E-02	2,13E-03	2,76E-02	1,18E-04	2,91E+02
Alt-1	20	153651022	2 mm zemin tesviyesi ve üzerine 2mm pvc esaslı yer döşeme kaplaması yapılması (heterojen)	m ²	1,30E+01	7,13E+00	3,29E-07	2,76E-02	2,92E-03	8,21E-03	2,81E-05	1,05E+02
Alt-2	30	153751053	Seramik yer karoları ile 3 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması	m ²	8,86E+00	1,20E+01	1,51E-06	3,22E-02	1,77E-03	2,44E-02	5,19E-05	1,83E+02
Alt-3	30	154001001	Terrazo karo ile iç mekân döşeme kaplaması yapılması	m ²	1,63E+01	5,23E+01	1,05E-05	2,17E-01	3,51E-03	1,53E-01	1,55E-04	8,64E+02
Alt-4	50	154051601	Washbeton yüzey işlenmiş terrazo karo ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	1,67E+01	6,28E+01	1,33E-05	2,67E-01	3,84E-03	1,88E-01	1,90E-04	1,09E+03
Alt-5	50	154101102	2 cm mermer levha ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	2,71E+01	3,91E+01	3,46E-06	2,28E-01	6,24E-03	1,67E-01	1,97E-04	3,97E+02
Alt-6	50	154151101	2 cm traverten levha ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	2,34E+01	1,80E+01	4,79E-07	5,30E-02	2,80E-03	2,95E-02	3,59E-05	1,10E+02
11	50	154201002	4 cm kalınlığında mucartali andezit levha ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	2,85E+01	3,16E+01	1,29E-06	2,32E-01	1,09E-02	3,88E-02	6,12E-05	2,20E+02
Alt-1	50	154101105	4 cm kalınlığında renkli mermer levha ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	2,81E+01	4,69E+01	4,48E-06	2,92E-01	7,50E-03	2,14E-01	2,50E-04	5,01E+02
Alt-2	50	154151006	4 cm kalınlığında traverten levha ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	3,17E+01	1,99E+01	5,21E-07	6,08E-02	3,10E-03	3,18E-02	4,31E-05	1,40E+02
12	40	154601005	Alüminyum doğrama imalatı yapılması	m ²	1,64E+02	2,52E+02	3,12E-05	1,97E+00	8,80E-02	8,44E-01	1,28E-02	2,62E+03
Alt-1	50	154551001	Plastik doğrama imalatı yapılması	m ²	4,84E+01	5,85E+01	2,56E-05	4,51E-01	2,05E-02	1,97E-01	1,85E-03	1,10E+03
Alt-2	35	155151001	Ahsaptan kasa ve pervazlı pencere doğrama yapılması	m ²	3,96E+01	1,09E+01	2,41E-06	9,43E-02	3,68E-03	5,27E-02	1,74E-04	2,15E+02
13	40	154601010	Alüminyum doğrama imalatı yapılması	m ²	1,66E+02	2,65E+02	3,32E-05	1,90E+00	1,27E-01	8,82E-01	1,34E-02	3,26E+03
Alt-1	50	154551001	Plastik doğrama imalatı yapılması	m ²	4,84E+01	5,85E+01	2,56E-05	4,51E-01	2,05E-02	1,97E-01	1,85E-03	1,10E+03
Alt-2	35	155151001	Ahsaptan kasa ve pervazlı pencere doğrama yapılması	m ²	3,96E+01	1,09E+01	2,41E-06	9,43E-02	3,68E-03	5,27E-02	1,74E-04	2,15E+02
17	60	102002401	Alüminyum kompozit panel (0.50 mm + 3 mm +0,50 mm)-polietilen dolgulu	m ²	2,15E+01	2,80E+01	2,07E-06	2,06E-01	9,00E-03	1,10E-01	1,63E-04	4,09E+02
Alt-1	30	153851065	Porselen karo ile duvar ve cephe kaplaması yapılması	m ²	1,14E+01	1,80E+01	2,68E-06	4,17E-02	2,13E-03	2,76E-02	1,18E-04	2,91E+02
Alt-2	40	154451002	Seramik mozaikler ile duvar ve cephe kaplaması yapılması	m ²	1,55E+01	4,08E+00	7,22E-07	1,56E-02	5,27E-04	1,08E-02	8,12E-05	4,17E+01
Alt-3	50	101302285	Cephe kaplama tuğlaları -15 mm kalınlıkta	m ²	2,03E+01	9,16E+00	2,89E-07	7,15E-02	3,60E-03	2,94E-02	2,51E-05	8,56E+01
Alt-4	50	101701701	Keresteden 19 mm kalınlıkta cephe kaplaması	m ²	3,11E+01	4,60E+00	6,80E-07	3,97E-02	1,54E-03	2,22E-02	7,35E-05	9,04E+01
Alt-5	25	102407201	Pvc den yapılmış binaların dış cephelelerinde kullanılan kaplama levhası	m ²	3,78E+00	6,02E+00	2,03E-07	2,34E-02	7,43E-04	1,28E-02	7,64E-05	1,29E+02
24	70	103303101	Çift bileşenli püskürtme olarak uygulanan sert poliüretan köpük	m ²	7,35E+00	1,59E+01	1,20E-07	1,90E-02	1,87E-03	9,53E-03	5,06E-05	3,05E+02
Alt-1	50	154012004	6 cm kalınlıkta taşıyıcı levhalar ile yatayda ısı yalıtımı yapılması	m ²	4,45E+00	1,44E+01	5,68E-14	1,01E-01	1,84E-05	2,17E-02	1,23E-06	1,95E+02
Alt-2	50	153401401	Çatı arasına döşeme üzerine, 6 cm kalınlıkta camyünü şilte ile yalıtım	m ²	2,73E+00	4,02E+00	2,07E-07	2,26E-02	1,27E-03	9,44E-03	3,19E-06	1,69E+02
25	70	153251001	Titanium-çinko kenet çatı kaplaması yapılması	m ²	3,47E+01	1,51E+01	8,89E-08	1,10E-01	4,44E-03	1,20E-02	2,03E-03	1,33E+02
Alt-1	50	153251004	Alüminyum levha ile çatı örtüsü yapılması	m ²	2,83E+01	3,52E+01	1,90E-06	2,41E-01	3,03E-03	1,15E-01	1,49E-04	3,83E+02
Alt-2	50	153251007	Trapezoidal alüminyum levhalar ile çatı örtüsü yapılması	m ²	2,25E+01	5,67E+01	3,61E-06	4,09E-01	9,22E-03	1,89E-01	1,82E-04	5,99E+02
Alt-3	50	153251101	Elyaf takviyeli çimentodan yapılmış okluk levhalarla çatı örtüsü yapılması	m ²	8,31E+00	1,36E+01	2,70E-07	4,82E-02	4,12E-03	7,60E-03	1,53E-04	1,16E+02
Alt-4	50	153251102	Okluk bitümlü levhalarla çatı örtüsü yapılması	m ²	7,90E+00	5,44E+00	9,48E-07	1,51E-02	1,31E-03	1,77E-03	2,00E-05	1,58E+02
Alt-5	60	153251003	Bakır levhadan çatı örtüsü yapılması	m ²	1,33E+02	1,49E+01	1,61E-06	4,77E-01	1,37E-02	3,86E-01	3,42E-02	2,40E+02

Çizelge 6.25 (devam) : Derslik yapısının çevresel etki ve maliyet kriterlerini azaltmak için oluşturulan alternatif iş kalemleri ve birim değerleri.

Sıra no	Faydalı ömür	Poz no	Tanım	Birim	Fiyat (\$)	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF
44	50	152251010	20 cm kalınlığındaki teçhizatı gazbeton duvar blokları	m ²	1,47E+01	4,24E+01	1,79E-06	1,25E-01	8,95E-03	1,12E-02	2,13E-05	2,83E+02
Alt-1	50	152201401	190 mm kalınlığında tuğla ile duvar yapılması	m ²	1,29E+01	3,76E+01	1,83E-07	7,30E-02	2,54E-03	1,54E-02	9,51E-06	3,05E+02
Alt-2	50	152301006	19 cm bimsbeton duvar blokları ile duvar yapılması	m ²	8,07E+00	2,37E+01	5,47E-08	5,17E-02	1,91E-03	8,09E-03	3,66E-05	1,05E+02
Alt-3	50	152351031	20 cm eps katkılı bloklar ile duvar yapılması	m ²	1,30E+01	1,16E+01	6,62E-07	3,52E-02	2,65E-04	2,95E-02	6,01E-05	1,78E+02
Alt-4	50	152401002	(37,5x19x19 cm) ebadında kireç kum taşı ile 19 cm kalınlıkta duvar yapılması	m ²	7,83E+00	1,92E+01	3,80E-08	1,75E-02	7,78E-04	1,79E-03	6,81E-06	1,33E+02
45	50	152251012	25 cm kalınlığındaki teçhizatı gazbeton duvar blokları	m ²	1,76E+01	5,30E+01	2,23E-06	1,57E-01	1,12E-02	1,41E-02	2,66E-05	3,53E+02
Alt-1	50	152201202	240 mm tuğla ile duvar yapılması	m ²	1,30E+01	4,54E+01	1,84E-07	8,75E-02	2,93E-03	1,67E-02	9,91E-06	3,74E+02
Alt-2	50	152301007	25 cm kalınlığındaki bimsbeton duvar blokları	m ²	9,62E+00	3,12E+01	7,19E-08	6,80E-02	2,52E-03	1,06E-02	4,81E-05	1,38E+02
Alt-3	50	152351033	25 cm kalınlığındaki eps katkılı bloklar	m ²	1,55E+01	1,45E+01	8,29E-07	4,41E-02	3,32E-04	3,70E-02	7,53E-05	2,23E+02
52	50	152551006	Polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtüler ile iki kat su yalıtımı yapılması	m ²	9,62E+00	2,56E+00	6,45E-07	1,20E-02	7,00E-04	6,25E-02	2,06E-05	8,37E+01
Alt-1	50	152601001	Pvc esası jeomembran ile su yalıtımı yapılması	m ²	5,48E+00	2,34E+00	1,22E-07	7,69E-03	7,15E-04	6,76E-03	6,85E-03	4,52E+01
Alt-2	50	152601013	Tpo esası jeomembran ile su yalıtımı yapılması	m ²	7,12E+00	3,65E+00	9,92E-08	1,11E-02	1,41E-04	1,07E-02	6,57E-06	9,45E+01
Alt-3	50	152601011	Termoset epdim esası jeomembran ile su yalıtımı yapılması	m ²	9,63E+00	5,43E+00	1,32E-06	3,14E-02	1,67E-03	1,99E-03	7,02E-05	5,32E+01
Alt-4	50	152601005	Hdpe esası jeomembran ile su yalıtımı yapılması	m ²	4,77E+00	6,36E+00	1,15E-10	1,72E-02	9,56E-05	1,27E-02	8,41E-07	1,59E+02
Alt-5	50	152651001	3 mm kalınlıkta, hdpe levhalarla, su yalıtımı yapılması	m ²	9,83E+00	1,21E+01	1,73E-09	3,31E-02	1,98E-04	2,39E-02	9,12E-06	3,00E+02
Alt-6	50	152651004	3 mm kalınlıkta, pp levhalarla, su yalıtımı yapılması	m ²	9,27E+00	1,49E+01	9,78E-07	7,13E-02	1,92E-03	4,68E-02	2,75E-04	3,23E+02
Alt-7	50	152701202	Geosentetik kil örtüler ile su yalıtımı yapılması	m ²	3,21E+00	9,75E-01	3,12E-08	3,40E-03	9,64E-05	1,20E-03	4,62E-07	1,87E+01
55	50	153401003	5 cm kalınlıkta taşıyıcı levhalar ile mantolama	m ²	1,29E+01	1,00E+01	2,05E-07	8,57E-02	5,32E-04	2,74E-02	2,39E-04	1,36E+02
Alt-1	50	153351003	5 cm xps ile mantolama	m ²	1,26E+01	8,18E+00	3,02E-07	3,36E-02	1,17E-03	2,60E-02	1,93E-04	1,48E+02
Alt-2	60	153351103	5 cm eps ile mantolama	m ²	1,08E+01	5,72E+00	3,17E-07	2,30E-02	8,67E-04	2,00E-02	1,80E-04	9,30E+01
Alt-3	60	153351203	5 cm grafit esası eps ile mantolama	m ²	1,11E+01	5,30E+00	3,09E-07	2,13E-02	8,29E-04	1,87E-02	1,80E-04	8,34E+01
58	50	151801002	Ahsaptan kalıp	m ²	1,03E+01	3,35E+00	4,49E-07	2,88E-02	1,07E-03	1,47E-02	9,74E-05	6,35E+01
Alt-1	50	151801007	Tünel kalıp	m ²	1,39E+01	5,53E+00	1,41E-07	1,86E-02	6,24E-04	4,21E-03	1,46E-05	6,75E+01
Alt-2	50	151801003	Plywood kalıp	m ²	1,04E+01	3,32E-01	1,73E-08	9,78E-03	1,85E-04	1,08E-03	1,48E-04	1,47E+01
Alt-3	50	151801004	Sac kalıp	m ²	1,24E+01	2,21E+00	7,82E-09	5,62E-03	1,70E-04	7,88E-04	2,11E-06	2,48E+01
73	5	155401256	İki kat su bazlı mat boya yapılması	m ²	2,33E+00	3,77E-01	3,63E-08	2,14E-03	1,18E-04	1,32E-03	4,34E-06	6,12E+00
Alt-1	5	155401271	İki kat sentetik boya yapılması	m ²	3,42E+00	9,73E-01	1,10E-07	6,55E-03	2,52E-04	2,08E-03	3,22E-05	1,68E+01
74	5	155401325	Silikon esası grenli/tektürlü kaplama yapılması	m ²	5,71E+00	1,29E+00	1,20E-07	7,93E-03	3,79E-04	4,56E-03	2,29E-05	2,06E+01
Alt-1	40	154451002	Seramik mozaikler ile duvar ve cephe kaplaması yapılması.	m ²	1,55E+01	4,08E+00	7,22E-07	1,56E-02	5,27E-04	1,08E-02	8,12E-05	4,17E+01
Alt-2	30	153801053	Seramik duvar karoları ile duvar kaplaması yapılması	m ²	9,33E+00	1,51E+01	2,13E-06	3,31E-02	3,04E-03	2,17E-02	9,73E-05	2,39E+02
Alt-3	30	153851044	Porselen karo ile duvar ve cephe kaplaması yapılması	m ²	1,07E+01	1,79E+01	2,65E-06	4,14E-02	2,12E-03	2,74E-02	1,17E-04	2,89E+02
Alt-4	50	154101203	Mermer levha ile duvar kaplaması yapılması	m ²	2,73E+01	3,54E+01	3,32E-06	2,17E-01	5,62E-03	1,59E-01	1,93E-04	3,72E+02
76	30	153901070	30 x 60 cm anna ebatlarında, sırsız porselen karo duvar ve cephe kaplaması yapılması	m ²	1,88E+01	1,80E+01	2,68E-06	4,17E-02	2,13E-03	2,76E-02	1,18E-04	2,91E+02
Alt-1	30	153851063	20 x 20 cm anna ebatlarında, sırlı porselen karo ile duvar ve cephe kaplaması yapılması	m ²	1,19E+01	1,79E+01	2,65E-06	4,14E-02	2,12E-03	2,74E-02	1,17E-04	2,89E+02
Alt-2	40	154451002	Seramik mozaikler ile duvar ve cephe kaplaması yapılması	m ²	1,55E+01	4,08E+00	7,22E-07	1,56E-02	5,27E-04	1,08E-02	8,12E-05	4,17E+01
Alt-3	40	154451003	Doğal taş mozaikler ile duvar ve cephe kaplaması yapılması	m ²	2,06E+01	1,10E+01	1,00E-06	7,13E-02	2,25E-03	4,97E-02	8,57E-05	1,38E+02
Alt-4	50	101302285	Cephe kaplama tuğlaları -15 mm kalınlıkta	m ²	2,03E+01	9,16E+00	2,89E-07	7,15E-02	3,60E-03	2,94E-02	2,51E-05	8,56E+01
93	30	154701419	4+4 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluklu ilk camı güneş ve ısı kontrol kaplamalı çift camlı pencere	m ²	4,21E+01	2,47E+01	2,24E-06	7,85E-02	5,42E-03	4,24E-02	7,34E-05	3,08E+02
Alt-1	30	154701010	4+4 mm kalınlıkta 12 mm ara boşluklu çift camlı pencere	m ²	3,47E+01	2,26E+01	2,03E-06	7,01E-02	4,37E-03	3,93E-02	1,38E-04	2,76E+02
Alt-2	30	154701016	6+6 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluklu çift camlı pencere	m ²	4,41E+01	3,41E+01	2,97E-06	1,05E-01	6,55E-03	5,89E-02	2,06E-04	4,14E+02
Alt-3	30	154701211	4+4 mm kalınlıkta 12 mm ara boşluklu ilk camı ısı kontrol kaplamalı çift camlı pencere	m ²	3,82E+01	2,47E+01	2,24E-06	7,85E-02	5,42E-03	4,24E-02	7,34E-05	3,08E+02
Alt-4	30	154701219	6+6 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluklu ilk camı ısı kontrol kaplamalı çift camlı pencere	m ²	4,88E+01	3,73E+01	3,29E-06	1,18E-01	8,15E-03	6,37E-02	1,07E-04	4,62E+02

Çizelge 6.26 : Konut yapısının çevresel etki ve maliyet kriterlerini azaltmak için oluşturulan alternatif iş kalemleri ve birim değerleri.

Sıra no	Faydalı ömür	Poz no	Tanım	Birim	Fiyat (\$)	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF
37	50	151801003	Plywood kalıp	m ²	1,04E+01	3,32E-01	1,73E-08	9,78E-03	1,85E-04	1,08E-03	1,48E-04	1,47E+01
Alt-1	50	151801002	Ahşaptan kalıp	m ²	1,03E+01	3,35E+00	4,49E-07	2,88E-02	1,07E-03	1,47E-02	9,74E-05	6,35E+01
Alt-2	50	151801007	Tünel kalıp	m ²	1,39E+01	5,53E+00	1,41E-07	1,86E-02	6,24E-04	4,21E-03	1,46E-05	6,75E+01
Alt-3	50	151801004	Sac kalıp	m ²	1,24E+01	2,21E+00	7,82E-09	5,62E-03	1,70E-04	7,88E-04	2,11E-06	2,48E+01
33	50	152251012	25 cm kalınlığındaki teçhizatırs gazbeton duvar blokları	m ²	1,76E+01	5,30E+01	2,23E-06	1,57E-01	1,12E-02	1,41E-02	2,66E-05	3,53E+02
Alt-1	50	152301007	25 cm kalınlığındaki bimsbeton duvar blokları	m ²	9,62E+00	3,12E+01	7,19E-08	6,80E-02	2,52E-03	1,06E-02	4,81E-05	1,38E+02
Alt-2	50	152351033	25 cm kalınlığındaki eps katkılı bloklar	m ²	1,55E+01	1,45E+01	8,29E-07	4,41E-02	3,32E-04	3,70E-02	7,53E-05	2,23E+02
Alt-3	50	152401003	Kireç kum taşı ile 24 cm kalınlıkta duvar yapılması	m ²	8,82E+00	3,01E+01	5,28E-08	2,73E-02	1,23E-03	2,60E-03	1,02E-05	2,09E+02
Alt-4	50	152201007	240 mm kalınlığında yatay delikli tuğla ile duvar yapılması	m ²	1,24E+01	4,46E+01	2,45E-07	8,69E-02	3,10E-03	1,97E-02	1,24E-05	3,57E+02
47	30	154701419	44-4 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluklu ilk camı güneş ve ısı kontrol kaplamalı çift camlı pencere	m ²	4,21E+01	2,47E+01	2,24E-06	7,85E-02	5,42E-03	4,24E-02	7,34E-05	3,08E+02
Alt-1	30	154701010	4+4 mm kalınlıkta 12 mm ara boşluklu çift camlı pencere	m ²	3,47E+01	2,26E+01	2,03E-06	7,01E-02	4,37E-03	3,93E-02	1,38E-04	2,76E+02
Alt-2	30	154701016	6+6 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluklu çift camlı pencere	m ²	4,41E+01	3,41E+01	2,97E-06	1,05E-01	6,55E-03	5,89E-02	2,06E-04	4,14E+02
Alt-3	30	154701211	4+4 mm kalınlıkta 12 mm ara boşluklu ilk camı ısı kontrol kaplamalı çift camlı pencere	m ²	3,82E+01	2,47E+01	2,24E-06	7,85E-02	5,42E-03	4,24E-02	7,34E-05	3,08E+02
Alt-4	30	154701219	6+6 mm kalınlıkta 16 mm ara boşluklu ilk camı ısı kontrol kaplamalı çift camlı pencere	m ²	4,88E+01	3,73E+01	3,29E-06	1,18E-01	8,15E-03	6,37E-02	1,07E-04	4,62E+02
48	50	154551001	Plastik doğrama imalatı yapılması	m ²	4,84E+01	5,85E+01	2,56E-05	4,51E-01	2,05E-02	1,97E-01	1,85E-03	1,10E+03
Alt-1	40	154601010	Alüminyum doğrama imalatı yapılması	m ²	1,88E+02	3,01E+02	3,77E-05	2,15E+00	1,45E-01	1,00E+00	1,52E-02	3,71E+03
Alt-2	35	155151001	Ahşaptan kasa ve pervazlı pencere doğrama yapılması	m ²	3,96E+01	1,09E+01	2,41E-06	9,43E-02	3,68E-03	5,27E-02	1,74E-04	2,15E+02
31	50	152251004	10 cm kalınlığındaki teçhizatırs gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması	m ²	8,90E+00	2,12E+01	8,93E-07	6,27E-02	4,48E-03	5,62E-03	1,07E-05	1,41E+02
Alt-1	50	152301002	10 cm bimsbeton duvar blokları ile duvar yapılması	m ²	5,70E+00	1,25E+01	2,88E-08	2,72E-02	1,01E-03	4,26E-03	1,93E-05	5,50E+01
Alt-2	50	152351024	10 cm eps katkılı bloklar ile duvar yapılması	m ²	8,03E+00	5,78E+00	3,31E-07	1,76E-02	1,33E-04	1,48E-02	3,01E-05	8,91E+01
Alt-3	50	152201001	85 mm kalınlığında yatay delikli tuğla ile duvar yapılması	m ²	7,54E+00	1,56E+01	7,64E-08	3,03E-02	1,06E-03	6,42E-03	3,96E-06	1,27E+02
10	5	155401256	İki kat su bazlı mat boya yapılması	m ²	2,33E+00	3,77E-01	3,63E-08	2,14E-03	1,18E-04	1,32E-03	4,34E-06	6,12E+00
Alt-1	5	155401271	İki kat sentetik boya yapılması	m ²	3,42E+00	9,73E-01	1,10E-07	6,55E-03	2,52E-04	2,08E-03	3,22E-05	1,68E+01
32	50	152251010	20 cm kalınlığındaki teçhizatırs gazbeton duvar blokları	m ²	1,47E+01	4,24E+01	1,79E-06	1,25E-01	8,95E-03	1,12E-02	2,13E-05	2,83E+02
Alt-1	50	152201005	190 mm kalınlığında yatay delikli tuğla ile duvar yapılması	m ²	1,00E+01	3,59E+01	2,06E-07	7,02E-02	2,53E-03	1,63E-02	1,04E-05	2,87E+02
Alt-2	50	152301006	19 cm bimsbeton duvar blokları ile duvar yapılması	m ²	8,07E+00	2,37E+01	5,47E-08	5,17E-02	1,91E-03	8,09E-03	3,66E-05	1,05E+02
Alt-3	50	152351031	20 cm eps katkılı bloklar ile duvar yapılması	m ²	1,30E+01	1,16E+01	6,62E-07	3,52E-02	2,65E-04	2,95E-02	6,01E-05	1,78E+02
Alt-4	50	152401002	(37.5x19x19 cm) ebadında kireç kum taşı ile 19 cm kalınlıkta duvar yapılması	m ²	7,83E+00	1,92E+01	3,80E-08	1,75E-02	7,78E-04	1,79E-03	6,81E-06	1,33E+02
11	30	153801056	Seramik duvar karoları ile duvar yapılması	m ²	1,08E+01	1,61E+01	2,25E-06	4,17E-02	2,58E-03	2,65E-02	1,34E-04	2,57E+02
Alt-1	30	153901050	Porselen karo ile duvar ve cephe kaplaması yapılması	m ²	1,53E+01	1,80E+01	2,68E-06	4,17E-02	2,13E-03	2,76E-02	1,18E-04	2,91E+02
Alt-2	50	154101204	2 cm mermer levha ile duvar kaplaması yapılması	m ²	2,98E+01	3,60E+01	3,37E-06	2,20E-01	5,74E-03	1,61E-01	1,99E-04	3,85E+02
12	30	153751052	(30 x 30 cm) veya (33 x 33 cm) anna ebatlarında, seramik yer karoları ile döşeme kaplaması	m ²	8,01E+00	1,10E+01	1,40E-06	2,37E-02	2,24E-03	1,96E-02	1,60E-05	1,65E+02
Alt-1	30	153851024	Porselen karo ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	1,06E+01	1,79E+01	2,65E-06	4,14E-02	2,12E-03	2,74E-02	1,17E-04	2,89E+02
Alt-2	20	153651022	2 mm zemin tesviyesi ve üzerine 2mm pvc esaslı yer döşeme kaplaması yapılması (heterojen)	m ²	1,30E+01	7,13E+00	3,29E-07	2,76E-02	2,92E-03	8,21E-03	2,81E-05	1,05E+02
Alt-3	30	154001001	Terrazo karo ile iç mekân döşeme kaplaması yapılması	m ²	1,63E+01	5,23E+01	1,05E-05	2,17E-01	3,51E-03	1,53E-01	1,55E-04	8,64E+02
Alt-4	50	154101102	2 cm mermer levha ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	2,71E+01	3,91E+01	3,46E-06	2,28E-01	6,24E-03	1,67E-01	1,97E-04	3,97E+02
Alt-5	50	154151101	2 cm traverten levha ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	2,34E+01	1,80E+01	4,79E-07	5,30E-02	2,80E-03	2,95E-02	3,59E-05	1,10E+02
13	35	154901002	Laminat yer kaplaması ile döşeme kaplaması yapılması (süpürgelik dahil)	m ²	8,86E+00	4,50E+00	6,94E-07	2,74E-02	3,05E-04	1,84E-02	2,18E-05	8,55E+01
Alt-1	30	153751052	(30 x 30 cm) veya (33 x 33 cm) anna ebatlarında, seramik yer karoları ile döşeme kaplaması	m ²	8,01E+00	1,10E+01	1,40E-06	2,37E-02	2,24E-03	1,96E-02	1,60E-05	1,65E+02
Alt-2	30	153851024	Porselen karo ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	1,06E+01	1,79E+01	2,65E-06	4,14E-02	2,12E-03	2,74E-02	1,17E-04	2,89E+02
Alt-3	30	154001001	Terrazo karo ile iç mekân döşeme kaplaması yapılması	m ²	1,63E+01	5,23E+01	1,05E-05	2,17E-01	3,51E-03	1,53E-01	1,55E-04	8,64E+02
Alt-4	50	154101101	2 cm mermer levha ile iç mekân döşeme kaplaması yapılması	m ²	1,85E+01	5,23E+01	1,05E-05	2,17E-01	3,51E-03	1,53E-01	1,55E-04	8,64E+02
Alt-5	50	154101101	2 cm mermer levha ile döşeme kaplaması yapılması	m ²	2,46E+01	3,84E+01	3,42E-06	2,25E-01	6,12E-03	1,65E-01	1,92E-04	3,85E+02
49	40	154601001	Naturel-mat eloksallı profillerle ısı yalıtımsız alüminyum doğrama imalatı yapılması	kg	7,51E+00	1,46E+01	1,80E-06	1,11E-01	5,61E-03	4,68E-02	6,69E-04	1,53E+02
Alt-1	50	154551001	Plastik doğrama imalatı yapılması	kg	2,85E+00	3,44E+00	1,51E-06	2,65E-02	1,21E-03	1,16E-02	1,09E-04	6,50E+01

Çizelge 6.26 (devam) : Konut yapısının çevresel etki ve maliyet kriterlerini azaltmak için oluşturulan alternatif iş kalemleri ve birim değerleri.

Sıra no	Faydalı ömür	Poz no	Tanım	Birim	Fiyat (\$)	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF
8	50	155351027	Arka yüzü akustik kumaş kaplı delikli alüminyum plakadan asma tavan yapılması- 60x60cm ebadında	m ²	2,03E+01	4,30E+01	2,58E-06	3,34E-01	1,56E-02	1,08E-01	5,37E-04	4,34E+02
Alt-1	50	155351026	Delikli alüminyum plakadan asma tavan yapılması	m ²	1,88E+01	4,29E+01	2,58E-06	3,33E-01	1,56E-02	1,08E-01	5,36E-04	4,30E+02
Alt-2	50	155301901	Açık levhalar ile çift iskeletli askı sistemli asma tavan yapılması	m ²	1,38E+01	5,00E+00	4,85E-07	3,90E-02	4,06E-03	1,38E-02	1,11E-04	7,71E+01
Alt-3	50	155351010	Deliksiz sıcak daldırma galvanize sac plakadan oturmali sistem asma tavan yapılması	m ²	1,52E+01	1,73E+01	8,62E-07	1,34E-01	9,07E-03	1,34E-02	4,15E-04	1,93E+02
Alt-4	50	155351025	Deliksiz alüminyum plakadan asma tavan yapılması	m ²	1,78E+01	3,83E+01	2,45E-06	3,00E-01	1,39E-02	1,05E-01	3,65E-04	3,90E+02
Alt-5	50	155351032	Arka yüzü akustik kumaş kaplı delikli alüminyum plakadan asma tavan yapılması- 30x30cm ebadında	m ²	2,13E+01	2,73E+01	1,44E-06	2,11E-01	1,04E-02	5,44E-02	5,23E-04	2,81E+02
Alt-6	50	155351051	Pvc den yapılmış asma tavan karoları ile asma tavan yapılması	m ²	1,08E+01	7,89E+00	3,26E-07	4,15E-02	1,67E-03	1,78E-02	1,23E-04	1,59E+02
18	50	153351601	3 cm xps levhalarla döşemelerde ısı yalıtımı yapılması	m ²	2,80E+00	4,04E+00	7,51E-08	1,62E-02	5,08E-04	1,10E-02	1,05E-05	8,81E+01
Alt-1	60	153351701	3 cm kalınlıkta eps ile yatayda ısı yalıtımı yapılması	m ²	2,80E+00	2,90E+00	9,74E-08	1,12E-02	3,81E-04	8,96E-03	2,61E-06	6,26E+01
20	50	153401004	6 cm kalınlıkta taşıyıcı levhalar ile dış duvarlarda dıştan ısı yalıtımı	m ²	1,35E+01	1,14E+01	2,05E-07	1,00E-01	5,34E-04	3,07E-02	2,39E-04	1,58E+02
Alt-1	50	153351004	6 cm kalınlıkta xps ile mantolama	m ²	1,35E+01	9,30E+00	3,23E-07	3,81E-02	1,31E-03	2,91E-02	1,96E-04	1,73E+02
Alt-2	60	153351104	6 cm eps ile mantolama	m ²	1,12E+01	6,35E+00	3,41E-07	2,54E-02	9,49E-04	2,18E-02	1,81E-04	1,06E+02
Alt-3	60	153351204	6 cm grafit esaslı eps ile mantolama	m ²	1,16E+01	5,84E+00	3,31E-07	2,33E-02	9,02E-04	2,03E-02	1,80E-04	9,48E+01
9	5	155401256	İki kat su bazlı mat boya yapılması	m ²	2,33E+00	3,77E-01	3,63E-08	2,14E-03	1,18E-04	1,32E-03	4,34E-06	6,12E+00
Alt-1	5	155401271	İki kat senetlik boya yapılması	m ²	3,42E+00	9,73E-01	1,10E-07	6,55E-03	2,52E-04	2,08E-03	3,22E-05	1,68E+01

Alternatifler birim referans miktarlara göre sunulmaktadır. Ancak doğrama için sunulan alternatiflerin metraj birimleri aynı değildir. PVC ve alüminyum için kg biriminde, ahşap için m² biriminde hesaplama yapılmaktadır. Bu alternatifler arasında karşılaştırma yapabilmek için verilerin hepsi m² birimine dönüştürülmüştür. Yapının yeni tasarımın çevresel etkileri hesaplanırken tercih edilen alternatifin birimine göre hesap yapıldığı için doğrama iş kalemi için metraj birim dönüşümleri yapılmıştır. Derslik yapısında 9852,8 kg alüminyum doğrama, 8647,9 kg PVC ve 508,7 m² ahşap doğramaya denk alınmıştır. Konut yapısında 5790,4 kg alüminyum doğrama, 4474,4 kg PVC ve 263,2 m² ahşap doğramaya denk alınmıştır.

Derslik yapısı için asma tavan, döşeme kaplaması, doğrama, cephe kaplaması, çatı kaplaması, duvar blokları, yalıtım, kalıp ve boya iş kalemlerinde tasarım değişimi yapılmıştır. Konut için kalıp, duvar blokları, cam, doğrama, boya, duvar kaplaması, yer kaplaması, asma tavan ve yalıtım iş kalemlerinde tasarım değişimi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda Derslik yapısı için elde edilen yaşam döngüsü matrisi Çizelge 6.27-30'da ve Konut yapısı için Çizelge 6.31-34'te verilmiştir. Yapıların her biri için 4 matris elde edilmektedir. Bu matrisin oluşum detayı Şekil 3.7'de sunulmuştur. Her bir matris iyileşme yüzdeleri ile verilmektedir. Maliyet dahil 8 kriterin ağırlığı eşit kabul edilerek her bir modelin iyileşme yüzdeleri matrislerde hesaplanmıştır. En yüksek iyileşme oranını veren model, çalışmanın kabul edilen çerçevesinde doğru çözüm olur. Yaşam döngüsü matrisini veren çizelge isimlerinin sonlarında bulunan isimlendirme matrisin hangi yaşam döneminin sonuçlarını temsil ettiğini belirtmektedir. Çizelgenin düşey sütunları modellemenin hangi göstergeye göre yapıldığını ve satırlar ise modellemenin yapıldığı göstergenin yapının diğer kriterleri üzerindeki hesap sonuçlarını vermektedir.

Yapılarda hesap kriterlerini en çok etkileyen iş kalemlerinde değişiklik yapılarak maliyet ve çevresel etkiler azaltılmaktadır. Çevresel etkiler 'A1-2-3-5' ve 'A1-2-3-5+B3-4-5' yaşam dönemlerine göre çok kriterli şekilde azaltılmıştır.

6.3.1.1 Derslik yapısının 'A1-2-3-5' yaşam dönemine göre çok kriterli biçimde çevresel etkilerinin azaltılması

Derslik yapısının başlangıç tasarımındaki bütün iş kalemleri için hesap kriterlerinin her birini en çok etkileyen iş kalemleri 'A1-2-3-5' ve 'A1-2-3-5+B3-4-5' yaşam dönemleri için ayrı ayrı belirlenerek azalan şekilde sıralanır. Her bir kriteri en fazla etkileyen 5 iş kalemine alternatifler atanarak hesap kriterini azaltan yapı tasarımı elde edilmektedir. Bu işlem iki yaşam dönemi için de yapılarak iki yaşam dönemi için de yeni yapı tasarımı elde

edilmektedir. Elde edilen bu yeni tasarımın maliyet ve çevresel etkileri hesaplanırken her iki yaşam dönemi için herhangi bir iş kaleminde değişiklik yapılmadan hesaplamalar yeniden tekrarlanır. Bu bölümde sunulacak olan yaşam döngüsü matrisleri 'A1-2-3-5' ve 'A1-2-3-5+B3-4-5' yaşam dönemine göre yeniden tasarlanan yapının 'A1-2-3-5' yaşam dönemine göre maliyet ve çevresel etkilerinin hesap sonuçlarını Çizelge 6.27-28'de vermektedir. Analiz adımları ve detayları Bölüm 3.4.1'de verilmiştir.

Yaşam döngüsü matrisini veren çizelge isimlerinin sonlarında bulunan isimlendirme matrisin hangi yaşam döneminin sonuçlarını temsil ettiğini belirtmektedir. Parantezle verilen ilk yaşam dönemi yapının tasarım revize alternatiflerinin hangi döneme göre yapıldığını vermektedir. İkinci parantez ise oluşan yeni yapı tasarımının maliyet ve çevresel etkilerinin yapıldığı yaşam dönemini temsil etmektedir. Örneğin Çizelge 6.27'de bu isimlendirme, derslik yapısı için 'A1-2-3-5' yaşam dönemine göre yeniden tasarlanan yapının, yeni tasarımını oluşturan malzemeler ile 'A1-2-3-5' yaşam dönemindeki çevresel etki değerlerinin ve maliyetin sonuçlarını temsil etmektedir. Çizelgenin düşey sütunları modellemenin hangi göstergeye göre yapıldığını sunmaktadır. Satırlar ise modellemenin yapıldığı göstergenin yapının diğer kriterleri üzerindeki hesap sonuçlarını vermektedir. Çizelge 6.27'de üst indis '1' ile gösterilen maliyet kriterini örnek olarak vermek gerekirse, maliyet kriterinin bulunduğu satır yapının maliyetini azaltmak için modellenmesi ile elde edilen sonuçları vermektedir. Burada iki noktaya dikkat edilmelidir. Birincisi, maliyet analizinin yapıldığı yaşam dönemi ya da alt yaşam dönemidir. Alt yaşam dönemi, yapının yeni tasarımına göre yeniden hesaplanan kriterlerin hangi yaşam dönemi için yapıldığını belirtir ve yaşam döngüsü matrisi çizelge isimlerinde sondaki parantezin içindeki dönemi belirtmektedir. İkincisi ise maliyeti minimum yapan yapı malzemelerinden oluşan yeni yapı tasarımının sonuçlarının diğer kriterler içinde hesaplanarak satırın geri kalanında sunulduğudur. Örneğin asidifikasyon kriterini azaltmak için 5 iş kalemi değiştirildiğinde, değişen iş kalemlerinin sadece AP değerleri değil 8 hesap kriteri de değişmektedir. Bunun dışında çizelgede iki tablo birlikte verilmiştir. Bunlardan üstte olan doğrudan yaşam döngüsü sonuçlarını vermektedir ve renklendirilmiş hücreler ilgili kriterin (sütunun) en düşük değerini verir. Altta olan tablo yapının başlangıç durumuna göre 8 hesap kriteri için her bir yeni tasarımın iyileşme yüzdesini verir. Maliyetin ve çevresel etkilerin azalması durumu pozitif olarak temsil edilmiştir. Alttaki tablonun en son sütunu ise kriterlerin yapıdaki iyileşmeye toplam etkisini vermektedir. Bu sütunda en yüksek değere sahip kriter araştırma sorularının cevabını vermektedir.

Çizelge 6.27 : Derslik yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5) (A1-2-3-5).

A1-2-3-5	Maliyet	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	
Modelleme Kategorisi	Maliyet ¹	1,14E+06	1,65E+06	1,12E-01	6,11E+03	3,45E+02	2,24E+03	7,27E+00	1,50E+07
	GWP	1,21E+06	1,58E+06	1,07E-01	6,12E+03	3,44E+02	2,29E+03	1,01E+01	1,45E+07
	ODP	1,21E+06	1,64E+06	1,02E-01	6,01E+03	3,45E+02	2,07E+03	9,10E+00	1,44E+07
	AP	1,22E+06	1,62E+06	1,09E-01	5,91E+03	3,35E+02	2,16E+03	9,44E+00	1,47E+07
	EP	1,23E+06	1,61E+06	1,10E-01	5,96E+03	3,28E+02	2,23E+03	9,60E+00	1,50E+07
	POCP	1,22E+06	1,73E+06	1,13E-01	6,33E+03	3,70E+02	1,89E+03	1,00E+01	1,49E+07
	ADPE	1,20E+06	1,70E+06	1,15E-01	6,10E+03	3,60E+02	2,11E+03	6,12E+00	1,51E+07
	ADPF	1,20E+06	1,63E+06	1,03E-01	6,13E+03	3,54E+02	2,08E+03	1,05E+01	1,40E+07
	İyileşme yüzdeleri								
Modelleme Kategorisi	Başlangıç Durum	1,31E+06	1,94E+06	1,38E-01	8,07E+03	4,62E+02	2,89E+03	1,75E+01	1,78E+07
	Maliyet	12,92%	14,95%	19,30%	24,27%	25,14%	22,49%	58,41%	15,50%
	GWP	7,77%	18,92%	22,98%	24,17%	25,40%	20,94%	42,03%	18,58%
	ODP	7,58%	15,66%	25,95%	25,47%	25,16%	28,29%	47,94%	19,15%
	AP	6,78%	16,65%	21,25%	26,73%	27,50%	25,35%	46,02%	17,65%
	EP	6,40%	17,22%	20,46%	26,14%	29,00%	22,75%	45,13%	15,95%
	POCP	6,87%	11,21%	18,49%	21,57%	19,86%	34,80%	42,79%	16,19%
	ADPE	8,52%	12,48%	16,96%	24,35%	21,99%	27,18%	65,03%	15,09%
	ADPF	8,40%	16,34%	25,59%	24,06%	23,32%	28,01%	40,07%	21,14%
									Toplam etki

Çizelge 6.28 : Derslik yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5/B3-4-5) (A1-2-3-5).

A1-2-3-5	Maliyet	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	
Modelleme Kategorisi	Maliyet	1,15E+06	1,71E+06	1,16E-01	6,36E+03	3,64E+02	2,26E+03	7,34E+00	1,54E+07
	GWP	1,21E+06	1,58E+06	1,07E-01	6,12E+03	3,44E+02	2,29E+03	1,01E+01	1,45E+07
	ODP	1,21E+06	1,64E+06	1,02E-01	6,01E+03	3,45E+02	2,07E+03	9,10E+00	1,44E+07
	AP	1,22E+06	1,63E+06	1,03E-01	6,01E+03	3,51E+02	2,06E+03	9,08E+00	1,42E+07
	EP	1,19E+06	1,60E+06	1,10E-01	6,14E+03	3,35E+02	2,35E+03	1,02E+01	1,50E+07
	POCP	1,23E+06	1,69E+06	1,07E-01	6,30E+03	3,74E+02	1,99E+03	9,76E+00	1,45E+07
	ADPE	1,20E+06	1,70E+06	1,15E-01	6,10E+03	3,60E+02	2,11E+03	6,12E+00	1,51E+07
	ADPF	1,20E+06	1,63E+06	1,03E-01	6,13E+03	3,54E+02	2,08E+03	1,05E+01	1,40E+07
	İyileşme yüzdeleri								
Modelleme Kategorisi	Başlangıç Durum	1,31E+06	1,94E+06	1,38E-01	8,07E+03	4,62E+02	2,89E+03	1,75E+01	1,78E+07
	Maliyet	11,94%	12,17%	16,38%	21,15%	21,06%	21,76%	58,05%	13,59%
	GWP	7,77%	18,92%	22,98%	24,17%	25,40%	20,94%	42,03%	18,58%
	ODP	7,58%	15,66%	25,95%	25,47%	25,16%	28,29%	47,94%	19,15%
	AP	7,02%	16,01%	25,68%	25,54%	23,93%	28,62%	48,10%	20,25%
	EP	9,40%	17,71%	20,38%	23,91%	27,47%	18,72%	41,41%	16,01%
	POCP	5,97%	12,87%	22,98%	21,87%	18,93%	31,20%	44,20%	18,70%
	ADPE	8,52%	12,48%	16,96%	24,35%	21,99%	27,18%	65,03%	15,09%
	ADPF	8,40%	16,34%	25,59%	24,06%	23,32%	28,01%	40,07%	21,14%
									Toplam etki

İki yaşam dönemi için de iş kalemleri revize edilerek ‘A1-2-3-5’ yaşam dönemine göre maliyet ve çevresel etkileri hesaplanan yapının yaşam döngüsü matrisleri incelendiğine en iyi sonucu her iki matrisin de %195,19 iyileşme miktarı ile ODP kriterine göre yapılan tasarım revizeleri verdiği belirlenmiştir. Bunun sebebi değiştirilebilir 5 iş kaleminin her iki yaşam dönemi için hesaplanan 8 kriterde benzer olmasıdır. Matrislerdeki küçük miktarlardaki değişikliklerin sebebi ise değiştirilebilir iş kalemlerinin farklı yaşam dönemlerindeki etki yüzdelерinden kaynaklanmaktadır.

6.3.1.2 Derslik yapısının ‘A1-2-3-5/B3-4-5’ yaşam dönemine göre çok kriterli biçimde çevresel etkilerinin azaltılması

Bu bölümde sunulacak olan yaşam döngüsü matrisleri ‘A1-2-3-5’ ve ‘A1-2-3-5+B3-4-5’ yaşam dönemlerine göre yeniden tasarlanan yapının ‘A1-2-3-5+B3-4-5’ yaşam dönemine göre maliyet ve çevresel etkilerinin hesap sonuçlarını Çizelge 6.29-30’da

vermektedir. En iyi iyileşme yüzdesini Çizelge 6.29’da verilen %232,88 iyileşme miktarıyla Maliyet kriterine ve A1-2-3-5 yaşam dönemine göre modellenen yapıdan elde edildiği belirlenmiştir.

Çizelge 6.29 : Derslik yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5) (A1-2-3-5/B3-4-5).

A1-2-3-5/B3-4-5		Maliyet	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF
Modelleme Kategorisi	Maliyet	1,50E+06	1,81E+06	1,31E-01	6,90E+03	3,83E+02	2,64E+03	9,00E+00	1,81E+07
	GWP	1,63E+06	1,74E+06	1,23E-01	6,99E+03	3,96E+02	2,66E+03	1,19E+01	1,76E+07
	ODP	1,63E+06	1,80E+06	1,19E-01	6,89E+03	3,97E+02	2,45E+03	1,08E+01	1,75E+07
	AP	1,60E+06	1,80E+06	1,32E-01	6,74E+03	3,74E+02	2,57E+03	1,14E+01	1,81E+07
	EP	1,61E+06	1,79E+06	1,33E-01	6,79E+03	3,67E+02	2,64E+03	1,15E+01	1,84E+07
	POCP	1,61E+06	1,91E+06	1,36E-01	7,17E+03	4,09E+02	2,31E+03	1,20E+01	1,84E+07
	ADPE	1,57E+06	1,87E+06	1,37E-01	6,85E+03	3,96E+02	2,48E+03	7,55E+00	1,84E+07
	ADPF	1,62E+06	1,79E+06	1,19E-01	7,00E+03	4,05E+02	2,45E+03	1,22E+01	1,72E+07
İyileşme yüzdeleri									
Başlangıç Durum		1,75E+06	2,24E+06	1,76E-01	9,74E+03	5,58E+02	3,69E+03	2,56E+01	2,27E+07
Modelleme Kategorisi	Maliyet	14,24%	19,17%	25,63%	29,10%	31,36%	28,43%	64,87%	20,08%
	GWP	7,05%	22,29%	30,16%	28,22%	29,12%	27,95%	53,64%	22,11%
	ODP	6,91%	19,46%	32,50%	29,30%	28,93%	33,70%	57,67%	22,56%
	AP	8,49%	19,75%	24,93%	30,81%	33,09%	30,38%	55,55%	20,17%
	EP	8,21%	20,24%	24,30%	30,32%	34,33%	28,34%	54,94%	18,83%
	POCP	7,70%	14,85%	22,36%	26,38%	26,69%	37,50%	53,04%	18,84%
	ADPE	10,08%	16,57%	22,22%	29,62%	29,15%	32,69%	70,52%	18,59%
	ADPF	7,52%	20,05%	32,21%	28,13%	27,40%	33,49%	52,30%	24,12%
Toplam etki									232,88%

Çizelge 6.30 : Derslik yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5/B3-4-5)(A1-2-3-5/B3-4-5).

A1-2-3-5/B3-4-5		Maliyet	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF
Modelleme Kategorisi	Maliyet	1,51E+06	1,86E+06	1,35E-01	7,15E+03	4,02E+02	2,66E+03	9,09E+00	1,84E+07
	GWP	1,63E+06	1,74E+06	1,23E-01	6,99E+03	3,96E+02	2,66E+03	1,19E+01	1,76E+07
	ODP	1,63E+06	1,80E+06	1,19E-01	6,89E+03	3,97E+02	2,45E+03	1,08E+01	1,75E+07
	AP	1,64E+06	1,80E+06	1,19E-01	6,88E+03	4,03E+02	2,44E+03	1,08E+01	1,74E+07
	EP	1,55E+06	1,76E+06	1,29E-01	6,93E+03	3,73E+02	2,75E+03	1,20E+01	1,80E+07
	POCP	1,66E+06	1,86E+06	1,23E-01	7,19E+03	4,26E+02	2,37E+03	1,16E+01	1,77E+07
	ADPE	1,57E+06	1,87E+06	1,37E-01	6,85E+03	3,96E+02	2,48E+03	7,55E+00	1,84E+07
	ADPF	1,62E+06	1,79E+06	1,19E-01	7,00E+03	4,05E+02	2,45E+03	1,22E+01	1,72E+07
İyileşme yüzdeleri									
Başlangıç Durum		1,75E+06	2,24E+06	1,76E-01	9,74E+03	5,58E+02	3,69E+03	2,56E+01	2,27E+07
Modelleme Kategorisi	Maliyet	13,69%	16,81%	23,38%	26,55%	28,07%	27,90%	64,51%	18,64%
	GWP	7,05%	22,29%	30,16%	28,22%	29,12%	27,95%	53,64%	22,11%
	ODP	6,91%	19,46%	32,50%	29,30%	28,93%	33,70%	57,67%	22,56%
	AP	6,49%	19,76%	32,29%	29,36%	27,91%	33,96%	57,78%	23,42%
	EP	11,59%	21,57%	26,48%	28,80%	33,29%	25,47%	53,27%	20,49%
	POCP	4,84%	16,86%	29,76%	26,16%	23,68%	35,70%	54,81%	22,02%
	ADPE	10,08%	16,57%	22,22%	29,62%	29,15%	32,69%	70,52%	18,59%
	ADPF	7,52%	20,05%	32,21%	28,13%	27,40%	33,49%	52,30%	24,12%
Toplam etki									219,56%

Derslik yapısının her iki yaşam döngüsünden elde edilen 4 matris karşılaştırıldığında en iyi iyileşme yüzdesini Derslik yapısı için Çizelge 6.29’da gösterilen Maliyet kriterine göre yapılan tasarımın analizi vermiştir. İyileşme yüzdesi %232,82’dir. Bu değer, yapının ‘üretim ve kurulum’ yaşam dönemine göre yapılan yeni tasarımın ‘üretim, kurulum ve kullanım’ yaşam dönemine göre analizden elde edilmiştir. Farklı yaşam dönemlerine göre yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde Çizelge 6.30’da ODP kriterinin de %231,01 ile yüksek bir iyileşme sağladığı görülmektedir. Tüm kriterler incelendiğinde kriterlerin tamamının matrislerde her bir yeni yapı tasarımı için iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir.

Derslik yapısı için en iyileşme Maliyet kriterine göre yapılan tasarım için bulunmuştur. Yeni tasarımda değiştirilen iş kalemleri; alüminyum doğrama yerine ahşap doğrama, porselen karo yerine seramik karo, çinko çatı kaplaması yerine bitümle levha kaplaması, alüminyum asma tavan yerine pvc asma tavan, gaz beton yerine kireç-kum taşı atanmıştır. Atanan iş kalemleri hem maliyet kriterini hem de çevresel kriterleri azalmıştır.

Çevresel etki kriterleri arasında en yüksek iyileşme değerleri Maliyet için %14,24, GWP için %22,29, ODP için %32,50, AP için %30,81, EP için %34,33, POCP için %37,50, ADPE için %70,52 ve ADPF için %24,12 olarak belirlenmiştir. ADPE kriterindeki en yüksek iyileşme değerinin diğer kriterlerden daha fazla olmasının sebebi, iş kalemlerine ve alternatiflerine atanan verilerden kaynaklanmaktadır. Fosil olmayan kaynak kullanımı (ADPE) yapı malzemelerinde genellikle oldukça az ve yakın miktarlardadır. Fakat bu çalışmada olduğu gibi herhangi bir yapı malzemesine atanan veride küçük bir miktar değişiklik olması durumunda etki yüzdesi artmaktadır. Matrislerde satırlardaki iyileşmeler toplanarak iyileşme puanları hesaplanır. En yüksek iyileşme puanını veren matris aynı zamanda tüm kriterler için en yüksek iyileşme yüzdelerini de vermiştir (Çizelge 6.29). Bunun dışında Çizelge 6.30'da ODP ve ADPF kriterleri yapının 'üretim+kurulum+kullanım' yaşam dönemi için yapılan hesaplamalarda da en yüksek iyileşmeyi vermiştir. Bunun sebebi, değiştirilen 5 iş kalemlerinin her iki matriste de aynı olmasıdır.

İyileşmedeki toplam etki sonuçlarının birbirlerine yakın olmasının sebebi, farklı yaşam dönemlerindeki değiştirilebilir iş kalemlerinin çoğunlukla benzer olmasından kaynaklanmaktadır. Değiştirilebilir iş kalemlerinin her bir analiz için etki yüzdesi değişse de iş kaleminin türü değişmediğinden sonuçlar birbirine yakın çıkmaktadır. Örneğin, her iki yaşam dönemi için de AP kriterinin en çok etkileyen değiştirilebilir 5 iş kalemi benzerdir. Burada değişen 5 iş kaleminin her birinin, iki yaşam döneminde de farklı miktarlarda yani dolayısıyla farklı etki yüzdelerinde olmasıdır.

6.3.1.3 Konut yapısının 'A1-2-3-5' yaşam dönemine göre çok kriterli biçimde çevresel etkilerinin azaltılması

Konut yapısı için de çok kriterli çevresel etki azaltılması analizleri yapılmıştır. Konut yapısı başlangıç tasarımı 'A1-2-3-5' ve 'A1-2-3-5+B3-4-5' yaşam dönemi hesap kriterlerini azaltmak için yeniden tasarlanarak yapının 'A1-2-3-5' yaşam dönemine göre maliyet ve çevresel etkilerinin hesap sonuçları Çizelge 6.31-32'de verilmiştir. A1-2-3-5 yaşam dönemi için en yüksek iyileşmeyi AP kriterine göre revize edilen yapı tasarımı vermiştir. AP kriteri

%5,2 iyileşme miktarıyla bütün hesap kriterleri arasından en düşük iyileşmeyi vermesine rağmen toplam iyileşmede %137,86 toplam iyileşme miktarıyla en etkili ön tasarım kriteri olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.31 : Konut yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5) (A1-2-3-5).

	A1-2-3-5	Maliyet	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	
Modelleme Kategorisi	Maliyet	4,25E+05	6,20E+05	3,61E-02	2,26E+03	1,15E+02	8,48E+02	4,26E+00	5,90E+06	
	GWP	4,30E+05	5,46E+05	3,86E-02	1,99E+03	9,75E+01	7,87E+02	4,27E+00	5,60E+06	
	ODP	4,27E+05	5,81E+05	3,18E-02	2,04E+03	1,04E+02	7,15E+02	3,89E+00	5,46E+06	
	AP	4,19E+05	5,71E+05	3,20E-02	1,92E+03	9,91E+01	6,90E+02	3,71E+00	5,38E+06	
	EP	4,27E+05	5,52E+05	3,31E-02	1,94E+03	9,70E+01	7,40E+02	3,81E+00	5,45E+06	
	POCP	4,37E+05	6,05E+05	3,42E-02	2,13E+03	1,16E+02	6,90E+02	3,85E+00	5,54E+06	
	ADPE	4,47E+05	6,19E+05	3,54E-02	2,08E+03	1,13E+02	7,05E+02	2,89E+00	5,70E+06	
	ADPF	4,26E+05	5,85E+05	3,28E-02	2,06E+03	1,06E+02	7,37E+02	4,38E+00	5,35E+06	
İyileşme yüzdeleri										
	Başlangıç Durum	4,42E+05	6,47E+05	4,27E-02	2,41E+03	1,27E+02	8,21E+02	4,97E+00	6,09E+06	Toplam etki
Modelleme Kategorisi	Maliyet	3,77%	4,09%	15,60%	6,05%	9,96%	-3,27%	14,38%	3,18%	53,76%
	GWP	2,77%	15,49%	9,69%	17,62%	23,52%	4,16%	14,09%	8,13%	95,47%
	ODP	3,49%	10,06%	25,69%	15,57%	18,16%	12,96%	21,71%	10,40%	118,04%
	AP	5,20%	11,76%	25,10%	20,51%	22,24%	16,05%	25,30%	11,70%	137,86%
	EP	3,35%	14,55%	22,65%	19,36%	23,87%	9,85%	23,31%	10,48%	127,43%
	POCP	1,12%	6,43%	19,85%	11,43%	9,10%	15,94%	22,49%	9,03%	95,40%
	ADPE	-1,13%	4,29%	17,06%	13,70%	11,34%	14,12%	41,88%	6,51%	107,76%
	ADPF	3,72%	9,52%	23,34%	14,43%	17,02%	10,24%	11,95%	12,10%	102,32%

Çizelge 6.32 : Konut yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5/B3-4-5) (A1-2-3-5).

	A1-2-3-5	Maliyet	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	
Modelleme Kategorisi	Maliyet	4,25E+05	6,36E+05	4,31E-02	2,30E+03	1,20E+02	8,48E+02	4,06E+00	6,19E+06	
	GWP	4,37E+05	5,57E+05	3,83E-02	2,10E+03	1,03E+02	8,13E+02	4,45E+00	5,68E+06	
	ODP	4,29E+05	5,96E+05	3,28E-02	2,10E+03	1,09E+02	7,20E+02	3,92E+00	5,55E+06	
	AP	4,19E+05	5,71E+05	3,20E-02	1,92E+03	9,91E+01	6,90E+02	3,71E+00	5,38E+06	
	EP	4,27E+05	5,52E+05	3,31E-02	1,94E+03	9,70E+01	7,40E+02	3,81E+00	5,45E+06	
	POCP	4,35E+05	6,07E+05	3,41E-02	2,14E+03	1,16E+02	6,94E+02	3,89E+00	5,58E+06	
	ADPE	4,47E+05	6,19E+05	3,54E-02	2,08E+03	1,13E+02	7,05E+02	2,89E+00	5,70E+06	
	ADPF	4,30E+05	5,97E+05	3,28E-02	2,14E+03	1,10E+02	7,27E+02	3,95E+00	5,48E+06	
İyileşme yüzdeleri										
	Başlangıç Durum	4,42E+05	6,47E+05	4,27E-02	2,41E+03	1,27E+02	8,21E+02	4,97E+00	6,09E+06	Toplam etki
Modelleme Kategorisi	Maliyet	3,89%	1,67%	-0,93%	4,67%	5,90%	-3,29%	18,39%	-1,67%	28,62%
	GWP	1,07%	13,80%	10,28%	12,69%	19,44%	1,06%	10,50%	6,82%	75,65%
	ODP	3,00%	7,84%	23,19%	12,77%	14,25%	12,33%	21,11%	8,96%	103,45%
	AP	5,20%	11,76%	25,10%	20,51%	22,24%	16,05%	25,30%	11,70%	137,86%
	EP	3,35%	14,55%	22,65%	19,36%	23,87%	9,85%	23,31%	10,48%	127,43%
	POCP	1,65%	6,18%	20,12%	11,13%	9,15%	15,55%	21,76%	8,35%	93,88%
	ADPE	-1,13%	4,29%	17,06%	13,70%	11,34%	14,12%	41,88%	6,51%	107,76%
	ADPF	2,84%	7,68%	23,15%	11,23%	13,33%	11,44%	20,41%	10,03%	100,12%

Yapıların en az revizeyle maliyet ve çevresel etkilerinin iyileştirilmesi amacıyla dolayı her bir hesap kriterini en fazla etkileyen değiştirilebilir 5 iş kalemine alternatifler oluşturulmuştur. Bu iş kalemlerinin metraj miktarı yapıyı en çok etkileyen kalemlerin seçiminde belirleyici olduğundan değiştirilebilir 5 iş kalemi genellikle her iki yaşam döneminde de benzer işlerden oluşmaktadır. Bu da matrislerin benzer sonuçlar vermesine sebep olmaktadır. ‘A1-2-3-5’ yaşam dönemine göre maliyet ve çevresel etkileri hesaplanan yapı matrisleri her iki yaşam dönemi için yapılan tasarım revizeleri benzer olduğundan birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Matrislerde gözlemlenen dalgalanmanın sebebi ise

azaltılması amaçlanan kriter için en yüksek iyileşmeyi başka bir kriterin sağlamasıdır. Bu durum her bir hesap kriterinin değiştirilebilir 5 iş kaleminin ve bunlar için oluşturulan alternatiflerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

6.3.1.4 Konut yapısının ‘A1-2-3-5/B3-4-5’ yaşam dönemine göre çok kriterli biçimde çevresel etkilerinin azaltılması

‘A1-2-3-5’ ve ‘A1-2-3-5+B3-4-5’ yaşam dönemine göre yeniden tasarlanan yapının ‘A1-2-3-5+B3-4-5’ yaşam dönemine göre maliyet ve çevresel etkilerinin hesap sonuçları Çizelge 6.33-34’te verilmiştir. En iyi iyileşme yüzdesini her iki yaşam dönemi için modellenen yapıda %131,37 iyileşme miktarıyla AP kriterinden elde edildiği belirlenmiştir.

Çizelge 6.33 : Konut yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5) (A1-2-3-5/B3-4-5).

A1-2-3-5/B3-4-5		Maliyet	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	
Modelleme Kategorisi	Maliyet	7,36E+05	7,34E+05	5,08E-02	2,85E+03	1,44E+02	1,18E+03	5,94E+00	7,68E+06	
	GWP	7,24E+05	6,42E+05	5,08E-02	2,42E+03	1,20E+02	1,06E+03	5,17E+00	7,17E+06	
	ODP	7,50E+05	6,84E+05	4,39E-02	2,53E+03	1,31E+02	9,94E+02	4,88E+00	7,13E+06	
	AP	7,24E+05	6,69E+05	4,48E-02	2,38E+03	1,22E+02	9,71E+02	4,66E+00	7,01E+06	
	EP	7,32E+05	6,51E+05	4,59E-02	2,41E+03	1,20E+02	1,02E+03	4,76E+00	7,08E+06	
	POCP	7,60E+05	7,07E+05	4,64E-02	2,63E+03	1,43E+02	9,69E+02	4,84E+00	7,22E+06	
	ADPE	7,56E+05	7,19E+05	4,87E-02	2,54E+03	1,36E+02	9,88E+02	3,82E+00	7,36E+06	
	ADPF	7,39E+05	7,00E+05	4,75E-02	2,65E+03	1,35E+02	1,07E+03	6,04E+00	7,15E+06	
İyileşme yüzdeleri										
Başlangıç Durum		7,45E+05	7,58E+05	5,69E-02	2,97E+03	1,56E+02	1,14E+03	6,59E+00	7,83E+06	Toplam etki
Modelleme Kategorisi	Maliyet	1,15%	3,20%	10,72%	4,16%	7,75%	-3,49%	9,84%	1,88%	35,21%
	GWP	2,73%	15,27%	10,67%	18,33%	23,13%	7,39%	21,48%	8,42%	107,41%
	ODP	-0,67%	9,84%	22,88%	14,76%	15,80%	12,80%	25,92%	8,89%	110,22%
	AP	2,77%	11,71%	21,13%	19,83%	21,46%	14,75%	29,24%	10,48%	131,37%
	EP	1,67%	14,09%	19,29%	18,90%	22,80%	10,28%	27,74%	9,53%	124,30%
	POCP	-2,08%	6,74%	18,49%	11,40%	8,38%	14,95%	26,51%	7,83%	92,22%
	ADPE	-1,52%	5,13%	14,43%	14,30%	12,78%	13,28%	41,95%	6,06%	106,41%
	ADPF	0,81%	7,74%	16,42%	10,88%	13,32%	6,16%	8,32%	8,69%	72,34%

Çizelge 6.34 : Konut yapısı yaşam döngüsü matrisi (A1-2-3-5/B3-4-5) (A1-2-3-5/B3-4-5).

A1-2-3-5/B3-4-5		Maliyet	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	
Modelleme Kategorisi	Maliyet	7,16E+05	7,37E+05	5,59E-02	2,73E+03	1,44E+02	1,12E+03	4,98E+00	7,83E+06	
	GWP	7,50E+05	6,57E+05	4,98E-02	2,58E+03	1,28E+02	1,08E+03	5,39E+00	7,30E+06	
	ODP	7,49E+05	6,97E+05	4,49E-02	2,60E+03	1,36E+02	9,98E+02	4,93E+00	7,21E+06	
	AP	7,24E+05	6,69E+05	4,48E-02	2,38E+03	1,22E+02	9,71E+02	4,66E+00	7,01E+06	
	EP	7,32E+05	6,51E+05	4,59E-02	2,41E+03	1,20E+02	1,02E+03	4,76E+00	7,08E+06	
	POCP	7,56E+05	7,08E+05	4,62E-02	2,64E+03	1,42E+02	9,71E+02	4,90E+00	7,25E+06	
	ADPE	7,56E+05	7,19E+05	4,87E-02	2,54E+03	1,36E+02	9,88E+02	3,82E+00	7,36E+06	
	ADPF	7,50E+05	6,98E+05	4,49E-02	2,63E+03	1,37E+02	1,01E+03	4,97E+00	7,15E+06	
İyileşme yüzdeleri										
Başlangıç Durum		7,45E+05	7,58E+05	5,69E-02	2,97E+03	1,56E+02	1,14E+03	6,59E+00	7,83E+06	Toplam etki
Modelleme Kategorisi	Maliyet	3,81%	2,76%	1,64%	8,01%	7,73%	2,02%	24,50%	-0,03%	50,45%
	GWP	-0,72%	13,40%	12,42%	13,26%	17,47%	5,44%	18,16%	6,83%	86,26%
	ODP	-0,65%	8,03%	21,12%	12,58%	12,81%	12,43%	25,16%	7,90%	99,37%
	AP	2,77%	11,71%	21,13%	19,83%	21,46%	14,75%	29,24%	10,48%	131,37%
	EP	1,67%	14,09%	19,29%	18,90%	22,80%	10,28%	27,74%	9,53%	124,30%
	POCP	-1,46%	6,61%	18,81%	11,24%	8,64%	14,75%	25,65%	7,42%	91,67%
	ADPE	-1,52%	5,13%	14,43%	14,30%	12,78%	13,28%	41,95%	6,06%	106,41%
	ADPF	-0,75%	7,90%	21,09%	11,33%	12,06%	11,79%	24,64%	8,73%	96,77%

Konut yapısının bütün matrisleri incelendiğinde en yüksek iyileşme miktarını Çizelge 6.31’de ve Çizelge 6.32’de verilen A1-2-3-5 yaşam dönemi için %137,86 ile AP

kriterine göre yapılan tasarımın analizi vermiştir. En iyi iyileşmeyi veren iki farklı tasarım yaşam döneminin olmasının sebebi, analiz edilen hesap kriterini en çok etkileyen değiştirilebilir 5 iş kaleminin tekrarlı kullanımlarının analize dahil olması sonucu tasarım revizesinin ağırlığının artmasıdır. Ayrıca, ADPE kriterinin en yüksek iyileşme değerini Çizelge 6.33-34'te verilen matrislerin vermesinin sebebi ise kriteri iyileştirmek için atanan, etki yüzdesi düşük (ortalama %3) bir alternatif malzemenin tekrarlı kullanımından kaynaklanmaktadır. Matrislerde en yüksek iyileşmenin diyagonal dışında gerçekleşmesi analiz edilen kriterin en iyi sonucunu başka bir kriter verdiğinden dolayı oluşmaktadır. Örneğin, Çizelge 6.31'de Maliyet kriterini azaltmak için yapılan analizde, Maliyet %3,77 iyileşmiş fakat AP kriterini azaltmak için yapılan analizde Maliyet %5,2 iyileşmiştir. Maliyeti en çok iyileştiren kriterin AP olmasının sebebi, her iki kriterde değiştirilebilir 5 iş kaleminin farklı olmasıdır. Ayrıca AP kriterinde değişen 5 iş kaleminin maliyet değerlerindeki birim azalmanın, Maliyet kriterine göre yapılan analizden daha yüksek olmasıdır. Çizelge 6.35'te Maliyet ve AP hesap kriterlerini azaltmak için yapının başlangıç tasarımındaki iş kalemlerine atanan alternatifler ve bunların birim değerleri bu duruma örnek olarak sunulmaktadır. Çizelgede yapıda ön tasarımda mevcut olan iş kalemi ve önerilen alternatif iş kalemi ardışık satırlarda aynı kenarlık içinde sunulmaktadır. Örneğin 1 numaralı satır mevcut iş kalemini ve 2 numaralı satır önerilen iş kalemini vermektedir. Çizelge 6.35'te önce Maliyet kriteri ve ardından AP kriteri için atanan iş kalemleri poz numaralarıyla verilmiştir. Her iki hesap kriterini azaltmak için atanan iş kalemlerinin birim miktarlarındaki fiyat değişikliği dördüncü sütunda belirtilmiştir. Maliyet kriterini azaltmak için atanan 5 iş kaleminin birim fiyat değişikliği 28,32\$ ve AP kriterini azaltmak için atanan 5 iş kaleminin birim fiyat değişikliği 35,62\$ hesaplanmıştır. İki hesap kriterini en çok etkileyen kalemlerin farklı olması ve bu kalemlere atanan alternatiflerden sonra hesap kriterlerinin tamamındaki birim iyileşme miktarının farklı olması bu durumu açıklamaktadır. Konut yapısında hesap kriterlerinin en yüksek iyileşmeleri Maliyet için %5,2, GWP için %15,49, ODP için %25,69, AP için %20,51, EP için %23,87, POCP için %16,05, ADPE için %41,95 ve ADPF için %12,10 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.35 : Maliyet ve AP kriterlerini azaltan alternatif iş kalemleri ve birim değerleri.

Maliyet	Sıra no/ Alternatif	Poz no	Fiyat (\$)	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	Satır No
Mevcut	37	151801003	1,04E+01	3,32E-01	1,73E-08	9,78E-03	1,85E-04	1,08E-03	1,48E-04	1,47E+01	1
Önerilen	Alt-1	151801002	1,03E+01	3,35E+00	4,49E-07	2,88E-02	1,07E-03	1,47E-02	9,74E-05	6,35E+01	2
Mevcut	33	152251012	1,76E+01	5,30E+01	2,23E-06	1,57E-01	1,12E-02	1,41E-02	2,66E-05	3,53E+02	3
Önerilen	Alt-3	152401003	8,82E+00	3,01E+01	5,28E-08	2,73E-02	1,23E-03	2,60E-03	1,02E-05	2,09E+02	4
Mevcut	47	154701419	4,21E+01	2,47E+01	2,24E-06	7,85E-02	5,42E-03	4,24E-02	7,34E-05	3,08E+02	5
Önerilen	Alt-1	154701010	3,47E+01	2,26E+01	2,03E-06	7,01E-02	4,37E-03	3,93E-02	1,38E-04	2,76E+02	6
Mevcut	48	154551001	4,84E+01	5,85E+01	2,56E-05	4,51E-01	2,05E-02	1,97E-01	1,85E-03	1,10E+03	7
Önerilen	Alt-2	155151001	3,96E+01	1,09E+01	2,41E-06	9,43E-02	3,68E-03	5,27E-02	1,74E-04	2,15E+02	8
Mevcut	31	152251004	8,90E+00	2,12E+01	8,93E-07	6,27E-02	4,48E-03	5,62E-03	1,07E-05	1,41E+02	9
Önerilen	Alt-1	152301002	5,70E+00	1,25E+01	2,88E-08	2,72E-02	1,01E-03	4,26E-03	1,93E-05	5,50E+01	10
AP	Sıra no/ Alternatif	Poz no	Fiyat (\$)	GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADPF	11
Mevcut	33	152251012	1,76E+01	5,30E+01	2,23E-06	1,57E-01	1,12E-02	1,41E-02	2,66E-05	3,53E+02	12
Önerilen	Alt-3	152401003	8,82E+00	3,01E+01	5,28E-08	2,73E-02	1,23E-03	2,60E-03	1,02E-05	2,09E+02	13
Mevcut	8	155351027	2,03E+01	4,30E+01	2,58E-06	3,34E-01	1,56E-02	1,08E-01	5,37E-04	4,34E+02	14
Önerilen	Alt-2	155301901	1,38E+01	5,00E+00	4,85E-07	3,90E-02	4,06E-03	1,38E-02	1,11E-04	7,71E+01	15
Mevcut	49	154601001	7,51E+00	1,46E+01	1,80E-06	1,11E-01	5,61E-03	4,68E-02	6,69E-04	1,53E+02	16
Önerilen	Alt-1	154551001	2,85E+00	3,44E+00	1,51E-06	2,65E-02	1,21E-03	1,16E-02	1,09E-04	6,50E+01	17
Mevcut	48	154551001	4,84E+01	5,85E+01	2,56E-05	4,51E-01	2,05E-02	1,97E-01	1,85E-03	1,10E+03	18
Önerilen	Alt-2	155151001	3,96E+01	1,09E+01	2,41E-06	9,43E-02	3,68E-03	5,27E-02	1,74E-04	2,15E+02	19
Mevcut	32	152251010	1,47E+01	4,24E+01	1,79E-06	1,25E-01	8,95E-03	1,12E-02	2,13E-05	2,83E+02	20
Önerilen	Alt-4	152401002	7,83E+00	1,92E+01	3,80E-08	1,75E-02	7,78E-04	1,79E-03	6,81E-06	1,33E+02	21

Her iki yapı birlikte değerlendirildiğinde en iyi iyileşme yüzdesini Derslik için Maliyet ve Konut için AP kriterine göre yapılan tasarımın analizi vermiştir. GWP göstergesi literatürün genel olarak belirttiği önemli bir etkidir. Maliyet ve AP ise literatürde çok dikkate alınmayan kriterlerdir. Bugüne kadar yapılan etki analizleri enerji ve karbon odaklı olmuştur. Çevresel etki, GWP üzerinden tanımlanırsa diğer göstergelerin yapı üzerindeki etkisi tam olarak ortaya çıkamamaktadır (Anand ve Amor, 2017). Bu çalışmanın çerçevesi dahilinde yapıların çevresel etkilerinin ve maliyetinin iyileşmesi çok kriterli çevresel etki analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Yapıların ön tasarımında maliyet ve çevresel etkileri azaltmak için belirleyici olan kriterin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek iyileşme tek bir kriterle göre yapılamamakla birlikte, yapıda kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler malzemenin yaşam döngüsü analizi sonuçlarını ve maliyetini etkileyen hammadde, yakıt, üretim süreci şeklinde örneklendirilebilir. Ayrıca, en iyi sonucu verecek model için tasarımda temel alınacak bir yaşam dönemi belirlenememiştir. Fakat en iyi iyileşmeyi veren sonuçlarda, ‘kullanım’ yaşam döneminin dahil olduğu analizlerin de olması çevresel etkiyi ve maliyeti azaltmak için yapı malzemelerinin faydalı ömrünün dikkate alınarak tasarım yapılmasını desteklemektedir.

Derslik yapısının değiştirilebilir iş kalemlerinin etki yüzdesi konuttaki değiştirilebilir iş kalemlerinin etki yüzdesinden daha fazla olduğundan, derslik yapısındaki iyileşme yüzdeleri daha yüksek oranlar ile sonuçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan örnek yapılarda değiştirilebilir en yüksek etki yüzdesine sahip ilk 5 iş kaleminden sonra etki

yüzdesi %5'in altına düşmektedir. Derslik ve Konut yapıları için değiştirilebilir iş kalemi sayısına göre farklı yaşam dönemleri için iyileşme miktarları Çizelge 6.36'da verilmiştir. Çizelge 6.36'da ikinci satırda verilen 'Yaşam döngüsü analizi dönemi' yapının maliyet ve çevresel kriterlerinin hangi yaşam dönemine için hesaplandığını ve üçüncü satırda verilen 'Revize edilen yaşam dönemi' ise revize edilen en etkili iş kalemlerinin hangi dönemi temsil ettiğini vermektedir. Konut için değiştirilebilir 4 iş kaleminde en iyi toplam etki %122,25 değerine sahiptir. Değiştirilebilir iş kalemi sayısı 5 olduğunda Konut için en iyi toplam etki %137,86 ve 6 olduğunda %147,51 ile AP kriterinde hesaplanmıştır. Değiştirilebilir ortalama 10 iş kaleminde bu toplam etki %161,50 olarak AP kriterinde hesaplanmıştır. Derslik yapısı için değiştirilebilir iş kalemi sayısı 4 olduğunda en yüksek toplam iyileşme %218,76 ile Maliyet kriterinde ve sayı 5 olduğunda %232,88 ile Maliyet kriterinde elde edilmiştir. Değiştirilebilir iş kalemi sayısı 6 olduğunda en yüksek toplam iyileşme miktarı %244,24 ve sayı ortalama 10 olduğunda %274 hesaplanmıştır. Değiştirilebilir iş kalemi sayısındaki artışın Konut yapısı ile kıyaslandığında Derslik yapısının toplam iyileşme değerini artırmasının sebebi, yenileme/onarım gibi sebeplerle tekrarlı kullanımı olan yapı malzemelerinin oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, Derslik yapısında yüksek etki yüzdesine sahip alüminyum asma tavan yerine PVC ya da alçı panel asma tavan yapılması sonuçlarda iyileşmeler sağlamıştır. Bunun dışında Derslik yapısı için en iyi iyileşmeyi veren Maliyet kriteri, Konut yapısında en az iyileşmeyi sağlamaktadır. Hesap kriterleri her yapı için kendi içinde değerlendirilir ve en iyi iyileşmeyi sunan kriterler değiştirilebilir 5 iş kalemine ve bunlara atanan yeni malzemelere bağlıdır. Herhangi bir kriteri azaltmak için yeni bir malzeme atandığında bütün kriterlerin değeri değişir. Atanan yeni malzemenin 8 hesap kriteri de iyileşme gösteriyorsa, bu hesap kriterinin toplam iyileşme etkisini artırır. Fakat atanan malzemenin hesap kriterlerinde azalma varsa bu da toplam iyileşmenin etkisini azaltmaktadır.

Çizelge 6.36 : Revize edilen iş kalemi sayısına ve yaşam dönemlerine göre yapıların toplam iyileşme miktarları.

	Yapı	Derslik				Konut			
	Yaşam döngüsü analizi dönemi	A1-2-3-5		A1-2-3-5/B3-4-5		A1-2-3-5		A1-2-3-5/B3-4-5	
	Revize edilen yaşam dönemi	A1-2-3-5	A1-2-3-5/B3-4-5	A1-2-3-5	A1-2-3-5/B3-4-5	A1-2-3-5	A1-2-3-5/B3-4-5	A1-2-3-5	A1-2-3-5/B3-4-5
Tasarım revize sayısı:4	Maliyet	175,60%	175,60%	218,76%	218,76%	42,79%	3,22%	26,60%	30,53%
	GWP	165,21%	172,43%	205,72%	213,53%	63,32%	72,25%	51,06%	89,35%
	ODP	177,40%	177,40%	217,27%	217,27%	102,43%	102,43%	97,93%	97,93%
	AP	179,56%	177,36%	216,14%	217,22%	122,25%	122,25%	119,08%	119,08%
	EP	165,26%	166,64%	205,78%	213,95%	85,94%	85,94%	99,54%	99,54%
	POCP	159,35%	164,29%	199,83%	206,33%	92,00%	92,86%	95,32%	90,23%
	ADPE	183,60%	173,81%	217,26%	215,69%	109,79%	84,54%	109,21%	88,36%
	ADPF	174,60%	174,60%	214,99%	214,99%	79,09%	99,10%	54,29%	95,34%
Tasarım revize sayısı:5	Maliyet	192,97%	176,09%	232,88%	219,56%	53,76%	28,62%	35,21%	50,45%
	GWP	180,80%	180,80%	220,54%	220,54%	95,47%	75,65%	107,41%	86,26%
	ODP	195,19%	195,19%	231,01%	231,01%	118,04%	103,45%	110,22%	99,37%
	AP	187,93%	195,15%	223,16%	230,96%	137,86%	137,86%	131,37%	131,37%
	EP	183,05%	175,01%	219,51%	220,96%	127,43%	127,43%	124,30%	124,30%
	POCP	171,78%	176,72%	207,34%	213,84%	95,40%	93,88%	92,22%	91,67%
	ADPE	191,60%	191,60%	229,43%	229,43%	107,76%	107,76%	106,41%	106,41%
	ADPF	186,93%	186,93%	225,22%	225,22%	102,32%	100,12%	72,34%	96,77%
Tasarım revize sayısı:6	Maliyet	202,50%	193,46%	228,21%	233,68%	69,37%	70,11%	47,50%	75,21%
	GWP	193,13%	193,13%	230,77%	230,77%	136,96%	98,87%	132,17%	104,31%
	ODP	204,72%	197,25%	238,76%	237,18%	129,02%	119,07%	118,84%	111,66%
	AP	200,35%	195,15%	230,67%	230,96%	147,51%	147,51%	139,31%	139,31%
	EP	195,47%	192,80%	227,02%	234,70%	137,08%	137,08%	132,24%	132,24%
	POCP	187,37%	184,72%	222,16%	226,01%	98,74%	96,42%	94,81%	93,66%
	ADPE	207,19%	207,19%	244,24%	244,24%	111,10%	111,10%	109,01%	109,01%
	ADPF	196,45%	196,45%	232,97%	232,97%	105,72%	113,12%	69,25%	106,99%
Tasarım revize sayısı:10	Maliyet	214,90%	215,30%	248,82%	249,43%	96,69%	96,69%	96,11%	96,11%
	GWP	236,86%	239,44%	264,34%	269,68%	143,92%	141,38%	132,50%	130,51%
	ODP	226,68%	227,17%	264,49%	265,29%	153,38%	153,38%	138,40%	138,40%
	AP	246,69%	246,69%	274,03%	274,03%	161,50%	156,64%	146,21%	143,06%
	EP	227,97%	234,13%	258,59%	269,64%	138,76%	125,83%	125,36%	115,32%
	POCP	211,74%	205,17%	247,67%	245,86%	125,16%	125,16%	116,17%	116,17%
	ADPE	225,30%	219,91%	263,15%	258,92%	136,50%	106,55%	128,93%	101,60%
	ADPF	235,51%	216,45%	265,22%	249,37%	149,86%	149,86%	135,65%	135,65%

İlgili hesap kriterini azaltmak için iş kalemlerine atanan malzemeler, hesap kriterinde iyileşme sağlamıştır. Bu artışın büyüklüğü, iş kaleminin ilgili kriterdeki etki büyüklüğüne bağlıdır. Bunun dışında iş kaleminin metraj miktarı ve alternatif olarak seçilen yapı malzemesi ile arasındaki farkın büyüklüğü de hesap sonuçlarını etkilemektedir. Alternatif olarak seçilen iş kaleminin faydalı ömrü sonuçlar üzerinde değişikliğe neden olabilir. Örneğin, yaşam dönemi boyunca 1 defa değiştirilen ve AP değeri 3 olan bir yapı malzemesi, 3 defa değiştirilen fakat AP değeri 2 olan malzeme ile değiştirildiğinde sonuçlarda azalma gözlemlenmemektedir. İş kaleminin birim çevresel kriterindeki azalma, tekrarlı kullanım miktarının etkisiyle olumsuz bir sonuca dönüşmektedir. Doğru bir yaşam döngüsü analizi için yapı malzemelerinin faydalı ömürlerine hesaplamalarda dikkat edilmesi gerekir.

Yapı malzemelerine alternatif atamak sadece malzemelerin çevresel ve mali değerleri üzerinde etkili değildir. Atanan malzemeler cam, doğrama, mantolama gibi yapının

kabuk elemanlarından birini oluştuyorsa, bu durumun yapının kullanım döneminde tüketilen ısıtma enerjisi üzerinde de etkisi vardır. Bu etki Konut yapısı için Çizelge 6.37-39’da sunulmaktadır.

Çizelge 6.37 : Konut yapısının yeni tasarımlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisi.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi tasarımı etkisi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi tasarımı etkisi			
	Tüketim miktarı (m3)	Maliyet (\$)	ADPF (MJ)	GWP (kgCO2)	Tüketim miktarı (m3)	Maliyet (\$)	ADPF (MJ)	GWP (kgCO2)
Başlangıç tasarımı	7,65E+05	1,96E+05	2,93E+07	1,67E+06	7,65E+05	1,96E+05	2,93E+07	1,67E+06
Maliyet	1,55E+06	3,95E+05	5,91E+07	3,38E+06	1,56E+06	4,00E+05	5,98E+07	3,42E+06
GWP	6,40E+05	1,64E+05	2,45E+07	1,40E+06	6,40E+05	1,64E+05	2,45E+07	1,40E+06
ODP	1,48E+06	3,79E+05	5,67E+07	3,24E+06	1,55E+06	3,95E+05	5,91E+07	3,38E+06
AP	1,48E+06	3,79E+05	5,67E+07	3,24E+06	1,48E+06	3,79E+05	5,67E+07	3,24E+06
EP	6,15E+05	1,57E+05	2,35E+07	1,34E+06	6,15E+05	1,57E+05	2,35E+07	1,34E+06
POCP	7,31E+05	1,87E+05	2,80E+07	1,60E+06	8,30E+05	2,12E+05	3,18E+07	1,81E+06
ADPE	7,31E+05	1,87E+05	2,80E+07	1,60E+06	7,31E+05	1,87E+05	2,80E+07	1,60E+06
ADPF	8,32E+05	2,13E+05	3,18E+07	1,82E+06	9,16E+05	2,34E+05	3,51E+07	2,00E+06

Çizelge 6.37’de konut yapısının çevresel göstergelere ve maliyete göre yeniden tasarlanmasıyla yapının işletme dönemindeki doğalgaz tüketimi üzerindeki etkisinin analiz sonuçları verilmektedir. Konut için başlangıç tasarıma göre en iyi iyileşmeyi her iki yaşam dönemi için %19,56 tüketim azalması ile EP kriterine göre yapılan yeni tasarımdan elde edilmektedir. Maliyet-GWP-ADPF değerleri doğrudan tüketilen doğalgaz miktarına bağlı olduğundan dolayı bu kriterler aynı oranda azalmıştır. En az doğalgaz tüketimini veren tasarım; gazbeton yerine EPS katkılı blok, alüminyum kapı doğraması yerine PVC doğrama, PVC pencere doğraması yerine ahşap doğrama ikame olarak belirlenmiştir. Isıtma ihtiyacındaki iyileşme yüzdelerini malzemeden elde edilen iyileşme yüzdeleriyle değerlendirmek yapının toplam yaşam döngüsünde en iyi iyileşmeyi hangi yaşam döneminin ve hangi kriterin verdiğinin cevabını içermektedir. Çizelge 6.38’de konut yapısının A-1-2-3-5 yaşam dönemlerine (YD) göre yeniden tasarlanmasıyla hesaplanan iyileşme yüzdeleri (sütun no 2 ve 3) ve bu yeni tasarımların B6 yaşam dönemine yani doğalgaz üzerindeki iyileşme yüzdesi (sütun no 4) verilmektedir. Çizelge 6.39’da ise bu hesaplama A-1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi için hesaplanmıştır.

Konut yapısının A1-2-3-5 yaşam dönemi sonuçları Çizelge 6.38’de sunulmaktadır. Malzeme için en iyi iyileşme yüzdesini veren AP kriteri %-93,79 iyileşme değeri ile doğalgazda iyi bir sonuç vermemiştir. Fakat EP kriterine göre tasarlanan yapı %19,56 ile en yüksek iyileşme değerini vermiştir. AP kriterini azaltmak için tasarlanan yapıda değişen iş

kalemleri; gaz beton yerine kireç-kum taşı blok, yapının cephesinde kullanılan alüminyum doğrama yerine plastik doğrama, pencerelerde plastik doğrama yerine ahşap doğrama iş kalemleridir. Yapıda en çok ısı kayıp oranına sahip olan dış duvar malzemesi gaz betonun (0,25 W/mK), bu yapı malzemesinden daha kötü ısı iletkenlik değerine sahip olan kireç-kum taşı blok (2,3 W/mK) ile yer değiştirmesi ile doğalgaz tüketimi önemli ölçüde artmıştır. En iyi doğalgaz iyileşme değerini veren EP kriterinin AP kriteri tasarımından tek farkı gaz beton yerine EPS katkılı yalıtım bloğu kullanılmasıdır. Ayrıca EP'den sonra %16,32 ile en iyi doğalgaz iyileşmesini GWP kriteri vermektedir. GWP tasarımında da gaz beton yerine EPS katkılı yalıtım bloğu kullanılmıştır. Fakat doğrama iş kalemi yoktur.

Çizelge 6.38 : Konut yapısının A1-2-3-5 ve B6 yaşam dönemi toplam iyileşme oranı.

	Modelleme Ktg./YD	Malzeme iyileşme yüzdesi		Doğalgaz iyileşme yüzdesi
		A1-2-3-5	A1-2-3-5/B3-4-5	B6
A1-2-3-5	Maliyet	53,76%	35,21%	-102,12%
	GWP	95,47%	107,41%	16,32%
	ODP	118,04%	110,22%	-93,79%
	AP	137,86%	131,37%	-93,79%
	EP	127,43%	124,30%	19,56%
	POCP	95,40%	92,22%	4,45%
	ADPE	107,76%	106,41%	4,45%
	ADPF	102,32%	72,34%	-8,83%
Sütun no	1	2	3	4

Konut yapısının A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi sonuçları Çizelge 6.39'da sunulmaktadır. Malzeme için en iyi iyileşme yüzdesini veren AP kriteri bir önceki açıklamaya benzer nedenlerden %-93,79 iyileşme değeri ile doğalgazda iyi bir sonuç vermemiştir. Doğalgazda en yüksek iyileşmeyi %19,56 ile EP kriteri vermiştir. Sonuç A1-2-3-5 yaşam dönemi ile benzerdir. Bunun sebebi alternatif atanacak iş kalemi sayısının az olması ve alternatif atanan bu iş kalemlerinin genellikle aynı olmasıdır. Her iki yaşam döneminde de EP kriterini azaltmak için tasarlanan yapıda değişen iş kalemleri benzerdir; gaz beton yerine kireç-kum taşı blok, yapının cephesinde kullanılan alüminyum doğrama yerine plastik doğrama, pencerelerde plastik doğrama yerine ahşap doğrama iş kalemleridir.

Çizelge 6.39 : Konut yapısının A1-2-3-5/B3-4-5 ve B6 yaşam dönemi toplam iyileşme oranı.

	Modelleme Ktg./YD	Malzeme iyileşme yüzdesi		Doğalgaz iyileşme yüzdesi
		A1-2-3-5	A1-2-3-5/B3-4-5	B6
A1-2-3-5/B3-4-5	Maliyet	28,62%	50,45%	-104,50%
	GWP	75,65%	86,26%	16,32%
	ODP	103,45%	99,37%	-102,12%
	AP	137,86%	131,37%	-93,79%
	EP	127,43%	124,30%	19,56%
	POCP	93,88%	91,67%	-8,53%
	ADPE	107,76%	106,41%	4,45%
	ADPF	100,12%	96,77%	-19,80%
Sütun no	1	2	3	4

Derslik yapısı için tekrarlanan analizlerin sonuçları Çizelge 6.40-42’de sunulmaktadır. Çizelge 6.40’da yapının çevresel göstergelere ve maliyete göre yeniden tasarlanmasının işletme dönemindeki doğalgaz tüketimi üzerindeki etkisinin hesaplama sonuçları verilmektedir. Derslik için başlangıç tasarıma göre en fazla iyileşmeyi her iki yaşam dönemi için de %12,25 tüketim azalması ile GWP, AP ve EP kriterlerine göre yapılan yeni tasarımdan elde edilmiştir. En az doğalgaz tüketimini veren tasarım hepsinde aynıdır; gazbeton yerine EPS katkılı blok, alüminyum doğrama yerine ahşap doğrama ve porselen yer karosu yerine PVC esaslı döşeme kaplaması ikame olarak gelmektedir.

Çizelge 6.40 : Derslik yapısının yeni tasarımlarının enerji tüketimi üzerindeki etkisi.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi tasarımı etkisi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi tasarımı etkisi			
	Tüketim miktarı (m3)	Maliyet (\$)	ADPF (MJ)	GWP (kgCO2)	Tüketim miktarı (m3)	Maliyet (\$)	ADPF (MJ)	GWP (kgCO2)
Başlangıç tasarımı	1,85E+06	4,73E+05	7,08E+07	4,04E+06	1,85E+06	4,73E+05	7,08E+07	4,04E+06
Maliyet	1,80E+06	4,60E+05	6,89E+07	3,93E+06	1,97E+06	5,04E+05	7,54E+07	4,30E+06
GWP	1,62E+06	4,15E+05	6,21E+07	3,55E+06	1,62E+06	4,15E+05	6,21E+07	3,55E+06
ODP	1,80E+06	4,60E+05	6,89E+07	3,93E+06	1,80E+06	4,60E+05	6,89E+07	3,93E+06
AP	1,62E+06	4,15E+05	6,21E+07	3,55E+06	1,80E+06	4,60E+05	6,89E+07	3,93E+06
EP	1,62E+06	4,15E+05	6,21E+07	3,55E+06	1,62E+06	4,15E+05	6,21E+07	3,55E+06
POCP	1,80E+06	4,60E+05	6,89E+07	3,93E+06	1,80E+06	4,60E+05	6,89E+07	3,93E+06
ADPE	1,80E+06	4,60E+05	6,89E+07	3,93E+06	1,80E+06	4,60E+05	6,89E+07	3,93E+06
ADPF	1,80E+06	4,60E+05	6,89E+07	3,93E+06	1,80E+06	4,60E+05	6,89E+07	3,93E+06

Çizelge 6.41’de ve Çizelge 6.42’de farklı yaşam dönemleri için yapı malzemesinin ve doğalgaz tüketimindeki iyileşme yüzdeleri sunulmaktadır. Her iki yaşam dönemi için malzeme ve doğalgazda en iyi iyileşme değerini veren kriterler benzerdir. Malzeme için bu kriter ODP ve Maliyet kriterleri, doğalgaz için GWP ve EP kriterleridir. Malzeme için en

fazla iyileşme yüzdesini veren Maliyet kriteri %2,74 iyileşme değeri ile doğalgazda az miktarda iyi sonuç vermiştir. Fakat tasarımları birbirine benzeyen GWP ve EP kriterlerinde %12,25 ile en yüksek iyileşme sağlanmıştır. Bu kriterleri azaltmak için tasarlanan yapıda değişen iş kalemleri; gazbeton yerine EPS katkılı blok, alüminyum doğrama yerine ahşap doğrama ve porselen yer karosu yerine PVC esaslı döşeme kaplamasıdır. Benzer pencere türü için alüminyum doğramanın ısıl geçirgenlik katsayısı 2,1 W/m²K'dır ve ahşap doğrama için bu değer 1,8 W/m²K'dır. Dış duvar malzemesi olan gaz betonun ısıl iletkenlik değeri ortalama 0,25 W/mK ve yerine kullanılan EPS katkılı duvar bloğunun değeri 0,08 W/mK'dır. Porselen karo 2,8 W/mK ve PVC döşeme kaplaması 0,23 W/mK ısıl iletkenlik değerine sahiptir. Alternatif malzemelerin ısıl değerlerindeki iyileşme sonuçları da olumlu bir şekilde etkilemiştir. Ek olarak %2,74 iyileşmeyi sunan kriterlerde yapının kabuğunda sadece alüminyum doğrama yerine ahşap doğrama değişimi gözlemlenmiştir.

Çizelge 6.41 : Derslik yapısının A1-2-3-5 ve B6 yaşam dönemi toplam iyileşme oranı.

	Modelleme Ktg./YD	Malzeme iyileşme yüzdesi		Doğalgaz iyileşme yüzdesi
		A1-2-3-5	A1-2-3-5/B3-4-5	B6
A1-2-3-5	Maliyet	192,97%	232,88%	2,74%
	GWP	180,80%	220,54%	12,25%
	ODP	195,19%	231,01%	2,74%
	AP	187,93%	223,16%	12,25%
	EP	183,05%	219,51%	12,25%
	POCP	171,78%	207,34%	2,74%
	ADPE	191,60%	229,43%	2,74%
	ADPF	186,93%	225,22%	2,74%
	Sütun no	1	3	4

Çizelge 6.42 : Derslik yapısının A1-2-3-5/B3-4-5 ve B6 yaşam dönemi toplam iyileşme oranı.

	Modelleme Ktg./YD	Malzeme iyileşme yüzdesi		Doğalgaz iyileşme yüzdesi
		A1-2-3-5	A1-2-3-5/B3-4-5	B6
A1-2-3-5/B3-4-5	Maliyet	176,09%	219,56%	-6,44%
	GWP	180,80%	220,54%	12,25%
	ODP	195,19%	231,01%	2,74%
	AP	195,15%	230,96%	2,74%
	EP	175,01%	220,96%	12,25%
	POCP	176,72%	213,84%	2,74%
	ADPE	191,60%	229,43%	2,74%
	ADPF	186,93%	225,22%	2,74%
	Sütun no	1	3	4

Konut yapısı ile kıyaslandığında Derslik yapısında doğalgazdaki iyileşme oranı daha azdır. Konutta en yüksek iyileşme oranı %19,56 ve Derslikte %12,25 değerine sahiptir. Bunun sebebi hesap kriterini azaltmak için atanan malzemelerin yapı kabuğu üzerindeki etkilerinin her iki yapı için de farklı olmasıdır. Örneğin her iki yapıda en iyi iyileşmeyi veren EP kriterinin etkisini azaltan tasarım; Konut için gazbeton yerine EPS katkılı blok, alüminyum dükkân doğraması yerine PVC doğrama ve PVC cam doğramaları yerine ahşap doğrama; Derslik için gazbeton yerine EPS katkılı blok ve PVC cam doğramaları yerine ahşap doğramadır. Hem değiştirilen iş kaleminin türü hem de yüzey alanı sonuçlar üzerinde etkilidir. Derslik yapısında kriterlerin çoğunda az miktarda da olsa iyileşme gözlemlenirken, Konut yapısında negatif değişim yüzdeleri daha fazladır. Bunun sebebi ilgili malzeme kriterini azaltmaya çalışırken yapının kabuğunu oluşturan malzemelerin ısı değerlerinin zayıflatılmasıdır. Örneğin Konut yapısında maliyeti azaltmak için ısı kontrol kaplamalı cam yerine kaplamasız camın tercih edilmesi ya da ODP kriterini azaltmak için gaz beton yerine kireç-kum taşı duvar bloğunun seçilmesi bu sonucu etkilemiştir. Benzer durumun Derslik yapısında ortaya çıkmamasının nedeni ise kriterleri en çok etkileyen değiştirilebilir 5 iş kalemini oluşturan malzemelerin çoğunlukla yapının kabuğunu oluşturan malzemelerden oluşmamasıdır.

6.3.2 Yapı kabuk türü tabanlı çevresel etki ve maliyet azaltma analizi

Yapının çevresel etkisinin azaltılması için yapılan ikinci analiz yapı kabuğu temelli yaklaşıma sahiptir. Yapının ısı enerjisi kaybında etkili olan kabuğunu oluşturan yapı malzemelerinin değişiminin yapı malzemesi ve doğalgazdan kaynaklanan maliyet-karbon-enerji üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bölüm 6.3.1'deki analizde yapı malzemelerinden kaynaklanan değişim dikkate alınarak yapının üretim, kurulum ve kullanım dönemindeki yapı malzemelerinin çevresel etkisini azaltmayı amaçlamaktadır. Fakat yapı kabuk türü tabanlı analiz işletme dönemindeki yani B6 dönemindeki çevresel etkileri azaltmanın malzemedan kaynaklanan çevresel etki ve maliyet üzerindeki etkinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Yapıların duvar türü, cam, doğrama, çatı yalıtım türü, zemin yalıtım türü ve kalınlıkları değiştirilerek analiz yapılır. Bu değişim malzemelerin yalıtımını etkileyen kalınlık ve ısı iletkenlik gibi kriterlerini kötüden iyiye iyileştirmeye dayanmaktadır. Duvar türünün tuğladan gaz betona iyileştirilmesi örnek olarak verilebilir. Bu analiz sayesinde yapıda fazladan yapılacak ek yalıtım yatırımının karbon, enerji ve maliyet ilişkisi ortaya çıkmaktadır. Analizde karşılaştırma kriteri olarak enerji-karbon-maliyet kullanılmıştır. Bunun sebebi her bir kabuk alternatifinin doğalgaz tüketimine etkisinin kıyaslanmasını

sağlamaktır. Doğalgaz için elde edilen veriler karbon-enerji-maliyet verileridir. Bu hesaplama yatırım odaklı olduğundan dolayı yapı malzemelerinin faydalı ömürleri dikkate alınarak analizler yapılır. Ayrıca analizler 4 derece-gün bölgesi için uygulanmıştır. Bu sayede farklı hava koşullarına sahip bölgelerde yatırım ile diğer kriterlerin ilişkisini belirleyerek kabul edilebilir yatırım alternatifleri hesaplanabilecektir. Bu analizdeki araştırma sorusu ‘Kaç \$ yatırım yapılırsa ne kadar MJ enerji ve ne kadar kg karbon azaltılabilir?’ olarak ifade edilmektedir.

Bu bölümde yapılan analizlerin işlem adımları Bölüm 3.4.2’de verilmiştir. Her iki yapı için tasarım modelleri oluşturulmuştur. Öncelikle yapılara belirlenen alternatif malzemeler ve bu malzemelerin enerji hesabı için gereken özellikleri verilmektedir. Enerji hesabında gereken parametreler, yapının kabuk katmanlarını oluşturan malzemelerin kalınlıkları ve ısı direnç veya ısı iletkenlik değerleridir. Ayrıca yapının kullanım ömrü boyunca yapıda değişecek ve sabit kalacak yapı malzemelerinin her bir alternatif için toplam maliyeti, EE ve EC değeri de verilmektedir. Kullanılan bu malzemelerin poz numaraları ayrı bir tablo şeklinde sunulmaktadır. Bunun dışında malzemelerin maliyet-EE-EC birim değerlerine, verilen poz numaraları ile Ek A ve Ek B’den ulaşılabilir. Son olarak 4 farklı derece-gün (DG) bölgesi için yapının enerji ihtiyacı hesabının sonuç tablosu verilerek yatırım değerlendirme hesabına geçilmektedir.

Derslik yapısının analizi için oluşturulan iş kalemi alternatifleri Çizelge 6.43’te sunulmaktadır. Çizelge 6.43’te ilk sütun alternatifin numarasını, diğer sütunlar yapının kabuğun oluşturan malzemeleri belirtmektedir. Derslik için 18 farklı alternatif kabuk oluşturulmuştur. Yapının kabuğundaki değişimler doğrama, cam türü, cam kalınlığı, çatı yalıtımında kullanılan camyününün kalınlığı, zemin yalıtımında kullanılan XPS malzemesinin kalınlığı ve duvar türünden oluşmaktadır. Doğrama malzemesinin ahşap, alüminyum ve plastik olmak üzere 3 farklı alternatifi vardır. Cam türü ve kalınlığı ısı geçirgenlik katsayısını belirlemek için birlikte değerlendirilir. Fakat farklı boşluklara ve özelliklere sahip cam türleri vardır. Kaplamasız ya da ısı iletkenliği azaltılmış kaplamalı farklı kalınlıklardaki camlar buna örnek olarak verilebilir. Malzemelerin kalınlıkları enerji ihtiyacı analizinde kullanılmaktadır. Bundan dolayı benzer malzemelerin kalınlıklarının artırılması da kullanım döneminde iyileşme sağlamaktadır. Çatı yalıtımında çoğunlukla camyünü kullanılmaktadır ve çalışmada 5 farklı kalınlıkta camyünü alternatifi ele alınmıştır. Benzer durum zemin yalıtımında kullanılan XPS için 7 farklı kalınlık ile sunulmuştur. Duvar

türü için alternatiflerde tek bir kalınlık için tuğla ve Bims, 3 farklı kalınlık için gaz beton bloğu sunulmuştur.

Çizelge 6.43 : Derslik yapısı için oluşturulan yapı malzemesi alternatifleri.

Alt.	Doğrama Tipi	Cam türü	Cam kalınlığı	Çatı yalıtım camyünü kalınlık	Zemin yalıtım	Duvar türü
1	Ahşap	Tek camlı	4+4 mm	Yok	Yok	Düz Tuğla 19
2	Ahşap	Tek camlı	4+4 mm	Yok	Yok	Düz Tuğla 19
3	Ahşap	Tek camlı	4+4 mm	6 cm	Yok	Düz Tuğla 19
4	Plastik	Çift camlı-kaplamasız cam-6 mm boşluklu	5+5 mm	6 cm	Yok	Bims 19 cm
5	Alüminyum	Çift camlı-kaplamasız cam-12 mm boşluklu	6+6 mm	8 cm	Yok	Bims 19 cm
6	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-6 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	3 cm XPS	Bims 19 cm
7	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-6 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	3 cm XPS	Gaz Beton 20
8	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-6 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	4 cm XPS	Gaz Beton 20
9	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-9 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	5 cm XPS	Gaz Beton 20
10	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-9 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	5 cm XPS	Gaz Beton 25
11	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-12 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	5 cm XPS	Gaz Beton 25
12	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-12 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	6 cm XPS	Gaz Beton 25
13	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-12 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	7 cm XPS	Gaz Beton 25
14	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-12 mm boşluklu	6+6 mm	12 cm	8 cm XPS	Gaz Beton 25
15	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-16 mm boşluklu	6+6 mm	12 cm	8 cm XPS	Gaz Beton 25
16	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-16 mm boşluklu	6+6 mm	14 cm	8 cm XPS	Gaz Beton 25
17	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-16 mm boşluklu	6+6 mm	14 cm	10 cm	Gaz Beton 25
18	Alüminyum	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-16 mm boşluklu	6+6 mm	14 cm	10 cm	Gaz Beton 30

Çizelge 6.43'te Derslik yapısı için belirlenen alternatifler sırasıyla yapı kabuğunun ısı değerlerini iyileştirerek malzemeden ve doğalgazdan kaynaklanan maliyet, karbon ve enerji değerlerindeki değişim hesaplanmıştır. Malzemelerin maliyet, karbon ve enerji değerlerini hesaplayabilmek için kullanılan değerler Çizelge 6.44'te poz numaraları ile verilmektedir. Buradaki poz numaralarını kullanarak Ek B'den iş kalemlerinin birim değerlerine ulaşılabilir.

Çizelge 6.44 : Derslik yapısı için oluşturulan yapı malzemesi alternatiflerinin poz numaraları.

Derslik					
Alt.	Doğrama türü	Cam türü	Çatı türü	Zemin türü	Duvar türü
1	155151001	154701002	YOK	YOK	152201005
2	155151001	154701002	YOK	YOK	152201005
3	155151001	154701002	153401401	YOK	152201005
4	154551001	154701011	153401401	YOK	152301006
5	154601001	154701213	153401402	YOK	152301006
6	154601001	154701214	153401403	153351501	152301006
7	154601001	154701214	153401403	153351501	152251010
8	154601001	154701214	153401403	153351502	152251010
9	154601001	154701214	153401403	153351503	152251010
10	154601001	154701214	153401403	153351503	152251012
11	154601001	154701214	153401403	153351503	152251012
12	154601001	154701214	153401403	153351504	152251012
13	154601001	154701214	153401403	153351505	152251012
14	154601001	154701214	153401404	153351506	152251012
15	154601001	154701424	153401404	153351506	152251012
16	154601001	154701424	153401405	153351506	152251012
17	154601001	154701424	153401405	153351507	152251012
18	154601001	154701424	153401405	153351507	152251014

Çizelge 6.45 : Derslik yapısı için oluşturulan alternatiflerin ısı yalıtım değerleri.

Alternatifler	Cam-U değeri	Çatı yalıtım kalınlığı-m	Çatı yalıtım- λ	Zemin yalıtım kalınlığı-m	Zemin yalıtım- λ	Duvar türü yalıtım kalınlığı-m	Duvar türü yalıtım- λ
1	5,1	0	0	0	0	0,19	0,33
2	4,9	0	0	0	0	0,19	0,33
3	4,9	0,06	0,035	0	0	0,19	0,33
4	3,4	0,06	0,035	0	0	0,19	0,36
5	3	0,08	0,035	0	0	0,19	0,36
6	2,9	0,1	0,035	0,03	0,03	0,19	0,36
7	2,9	0,1	0,035	0,03	0,03	0,2	0,2
8	2,9	0,1	0,035	0,04	0,03	0,2	0,2
9	2,4	0,1	0,035	0,05	0,03	0,2	0,2
10	2,4	0,1	0,035	0,05	0,03	0,25	0,2
11	2,3	0,1	0,035	0,05	0,03	0,25	0,2
12	2,3	0,1	0,035	0,06	0,03	0,25	0,2
13	2,3	0,1	0,035	0,07	0,03	0,25	0,2
14	2,3	0,12	0,035	0,08	0,03	0,25	0,2
15	2,1	0,12	0,035	0,08	0,03	0,25	0,2
16	2,1	0,14	0,035	0,08	0,03	0,25	0,2
17	2,1	0,14	0,035	0,1	0,03	0,25	0,2
18	2,1	0,14	0,035	0,1	0,03	0,3	0,2

Yapı için oluşturulan alternatifleri oluşturan malzemelerin kalınlığı, ısı iletkenlik ve ısı geçirgenlik değeri enerji ihtiyacı hesabının temelini oluşturmaktadır. Çizelge 6.45'te bu kriterler her bir alternatifi oluşturan bütün yapı malzemeleri için verilmektedir. Bu veriler yardımıyla yapının 4 derece-gün bölgesi için ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Çizelge 6.46'da sunulmaktadır. 4 farklı derece-gün bölgesi için hesaplanan her bir alternatfin net bugünkü değeri ve enerji-karbon değişimi hesaplanarak yatırımın mali değişiminin karbon ve enerji üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çizelge 6.46 : Derslik yapısı için oluşturulan alternatiflerin enerji ihtiyacı analizi sonuçları.

Yıllık	DG-1			DG-2			DG-3			DG-4		
Alt.	Doğalgaz miktarı-m ³	Enerji MJ	Karbon kgCO ₂	Maliyet \$	Doğalgaz miktarı-m ³	Enerji MJ	Karbon kgCO ₂	Maliyet \$	Doğalgaz miktarı-m ³	Enerji MJ	Karbon kgCO ₂	Maliyet \$
1	2,83E+04	1,08E+06	6,19E+04	7,24E+03	5,29E+04	2,02E+06	1,16E+05	1,35E+04	7,30E+04	2,79E+06	1,59E+05	1,87E+04
2	2,80E+04	1,07E+06	6,12E+04	7,16E+03	5,23E+04	2,00E+06	1,14E+05	1,34E+04	7,22E+04	2,76E+06	1,58E+05	1,85E+04
3	1,98E+04	7,58E+05	4,33E+04	5,07E+03	3,80E+04	1,45E+06	8,30E+04	9,71E+03	5,29E+04	2,02E+06	1,16E+05	1,35E+04
4	1,79E+04	6,86E+05	3,92E+04	4,58E+03	3,46E+04	1,32E+06	7,56E+04	8,85E+03	4,83E+04	1,85E+06	1,06E+05	1,24E+04
5	1,70E+04	6,51E+05	3,72E+04	4,35E+03	3,29E+04	1,26E+06	7,20E+04	8,43E+03	4,61E+04	1,76E+06	1,01E+05	1,18E+04
6	1,65E+04	6,30E+05	3,60E+04	4,21E+03	3,20E+04	1,22E+06	6,99E+04	8,18E+03	4,45E+04	1,70E+06	9,72E+04	1,14E+04
7	1,45E+04	5,54E+05	3,16E+04	3,70E+03	2,83E+04	1,08E+06	6,20E+04	7,25E+03	3,96E+04	1,51E+06	8,65E+04	1,01E+04
8	1,44E+04	5,52E+05	3,15E+04	3,69E+03	2,83E+04	1,08E+06	6,18E+04	7,23E+03	3,95E+04	1,51E+06	8,63E+04	1,01E+04
9	1,37E+04	5,25E+05	3,00E+04	3,51E+03	2,69E+04	1,03E+06	5,89E+04	6,89E+03	3,77E+04	1,44E+06	8,23E+04	9,64E+03
10	1,32E+04	5,05E+05	2,88E+04	3,37E+03	2,60E+04	9,95E+05	5,68E+04	6,65E+03	3,64E+04	1,39E+06	7,95E+04	9,31E+03
11	1,31E+04	5,00E+05	2,85E+04	3,34E+03	2,57E+04	9,85E+05	5,63E+04	6,59E+03	3,60E+04	1,38E+06	7,88E+04	9,22E+03
12	1,30E+04	4,99E+05	2,85E+04	3,33E+03	2,57E+04	9,83E+05	5,61E+04	6,57E+03	3,60E+04	1,38E+06	7,86E+04	9,20E+03
13	1,30E+04	4,98E+05	2,84E+04	3,33E+03	2,56E+04	9,81E+05	5,60E+04	6,56E+03	3,59E+04	1,37E+06	7,85E+04	9,19E+03
14	1,28E+04	4,92E+05	2,81E+04	3,29E+03	2,54E+04	9,70E+05	5,54E+04	6,49E+03	3,55E+04	1,36E+06	7,76E+04	9,09E+03
15	1,26E+04	4,81E+05	2,75E+04	3,22E+03	2,49E+04	9,52E+05	5,43E+04	6,36E+03	3,48E+04	1,33E+06	7,62E+04	8,91E+03
16	1,25E+04	4,78E+05	2,73E+04	3,19E+03	2,47E+04	9,45E+05	5,39E+04	6,31E+03	3,46E+04	1,32E+06	7,56E+04	8,85E+03
17	1,24E+04	4,76E+05	2,72E+04	3,18E+03	2,46E+04	9,42E+05	5,38E+04	6,30E+03	3,45E+04	1,32E+06	7,54E+04	8,83E+03
18	1,21E+04	4,62E+05	2,64E+04	3,09E+03	2,39E+04	9,16E+05	5,23E+04	6,13E+03	3,36E+04	1,29E+06	7,34E+04	8,60E+03

Bölüm 3.4.2’de işlem adımları ve formülleri verilen Derslik yapısının net bugünkü değer hesabı, 4 derece-gün bölgesi için Çizelge 6.47’de verilmektedir. Birinci ve ikinci sütunlar yapı malzemesinden kaynaklanan maliyeti sunmaktadır. Üçüncü sütun kıyaslamanın hangi alternatifler arasında olduğunu temsil etmektedir. Kalan sütunlar ise her bir derece-gün bölgesi için 50 yıllık hesaplama sonuçlarını üçlü sütun grupları şeklinde vermektedir. Derece-gün bölgesi 1 için; dördüncü sütun alternatifler arasındaki değişimin yapının enerji tüketimine etkisini, beşinci sütun karbon tüketimine etkisini ve altıncı sütun alternatifler arasındaki değişim maliyetini Eşitlik 3.10’da verilen denklem yardımıyla hesaplanan net bugünkü değeri (NBD) temsil etmektedir. NBD değerleri negatif çıkan alternatifler reddedilerek, NBD değerleri pozitif çıkana kadar yalıtımı etkileyen yapı malzemeleri değiştirilmiştir.

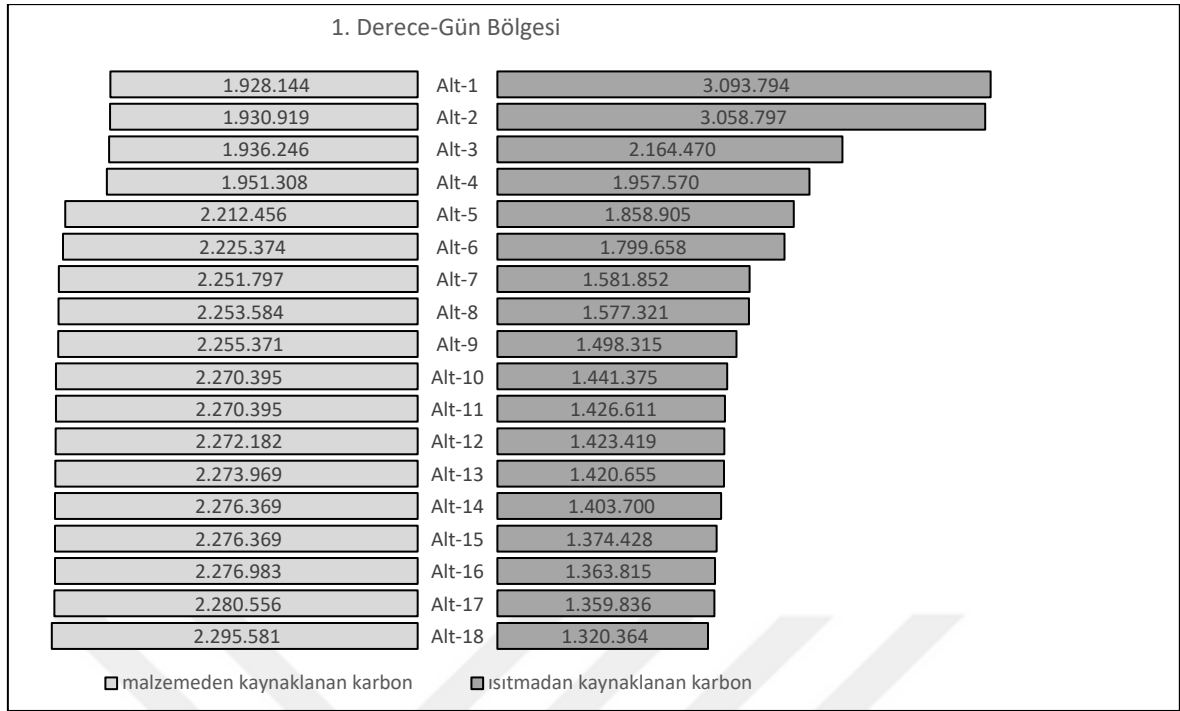


Çizelge 6.47 : Derslik yapısı yatırım-karbon-enerji ilişkisi.

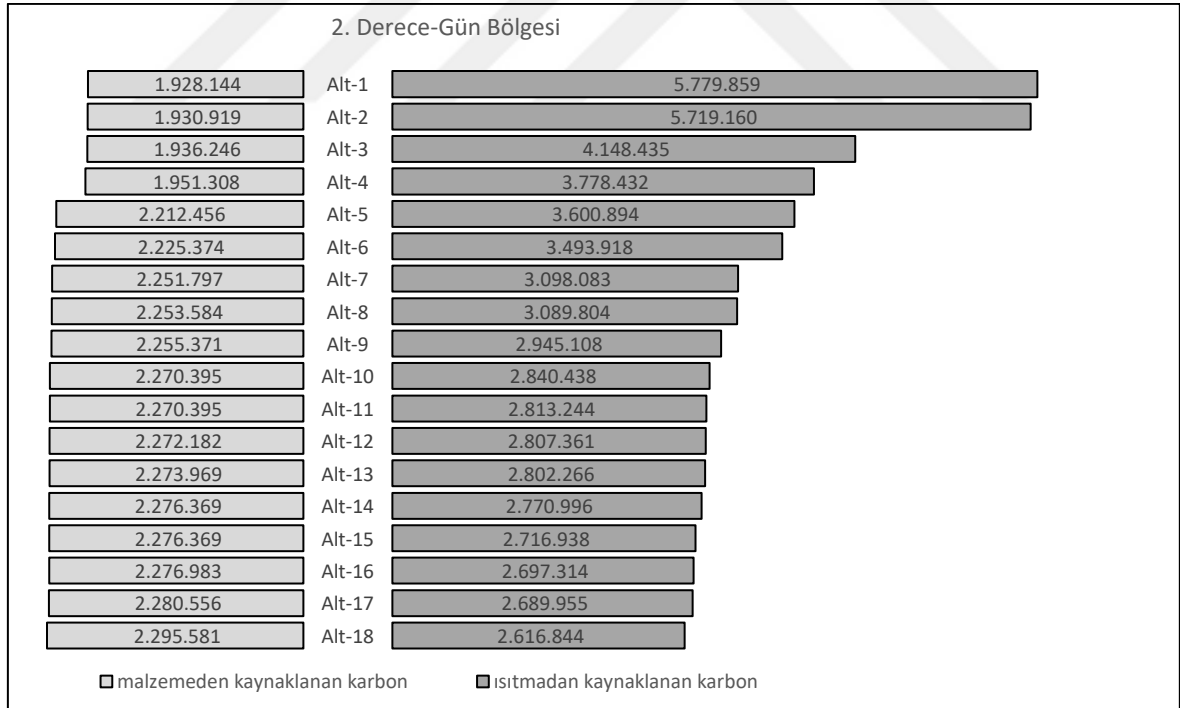
Alt.	Yenilenmeyen malzemelerin maliyeti-₺	Yenilenen malzemelerin maliyeti-₺	Alt. Farkları	DG-1			DG-2			DG-3			DG-4		
				Enerji değişimi	Karbon değişimi	NBD	Enerji değişimi	Karbon değişimi	NBD	Enerji değişimi	Karbon değişimi	NBD	Enerji değişimi	Karbon değişimi	NBD
1	14245,7	50450,6													
2	14245,7	60511,5	2-1	-558255,4	-32221,2	-5346,4	-1008318,7	-57923,3	-2636,4	-1371610,7	-78670,0	-843,2	-1742052,6	-99825,0	1781,6
3	17863,5	60511,5	3-2	-15436949,4	-888999,9	90678,0	-27281235,0	-1565398,3	161995,9	-36802615,9	-2109141,3	209090,9	-47170428,2	-2701221,9	281754,5
4	15060,3	65264,2	4-3	3377179,8	-191838,5	20349,6	6233235,0	-354940,9	37546,7	8521481,4	-485617,1	48901,1	-10840889,4	-618072,8	65290,7
5	15570,0	191665,1	5-4	777915,3	162484,2	-103636,2	-603224,3	83610,7	-95320,0	-1709462,4	20436,1	-89824,3	-2837853,7	-44003,6	-81864,6
6	19798,5	195851,4	6-5	-822230,8	-46329,2	-1741,6	-1658008,8	-94058,5	3290,8	-2907750,0	-165428,2	9952,5	-3012704,1	-171421,9	11447,8
7	29264,9	195851,4	7-6	-3561409,9	-191383,8	13498,6	-6678818,1	-369411,4	32269,5	-9093979,2	-507335,4	44227,9	-11751219,8	-659083,9	62811,9
8	30387,4	195851,4	8-7	-40393,1	-2743,6	-644,8	-106032,7	-6492,1	-249,5	-156962,8	-9400,6	3,0	-213211,7	-12612,9	395,8
9	31509,8	196150,5	9-8	-1344526,7	-77219,5	6939,1	-2494812,3	-142909,5	13865,3	-3387933,5	-193913,5	18295,7	-4375921,8	-250335,2	25192,1
10	35567,9	196150,5	10-9	-896860,7	-41915,7	1945,5	-1732650,8	-89645,6	6978,1	-2382364,2	-126749,2	10203,9	-3103088,6	-167908,0	15229,9
11	35567,9	196449,7	11-10	-258521,6	-14763,5	1288,0	-476187,6	-27193,9	2598,6	-645509,4	-36863,5	3439,7	-833629,4	-47606,6	4750,9
12	36690,4	196449,7	12-11	-16966,8	-1405,8	-785,8	-64089,5	-4096,9	-502,1	-100752,7	-6190,6	-319,9	-141502,7	-8517,7	-36,0
13	37812,8	196449,7	13-12	-9457,6	-977,0	-831,0	-50266,0	-3307,4	-585,3	-82018,4	-5120,7	-427,6	-117314,8	-7136,4	-181,6
14	39299,5	196449,7	14-13	-246198,9	-14554,6	301,0	-496862,8	-28869,4	1810,3	-691939,6	-40009,8	2779,6	-908887,0	-52399,2	4291,2
15	39299,5	201632,9	15-14	-512574,0	-29271,9	-1569,1	-946607,9	-54058,5	1044,4	-1284554,3	-73357,8	2724,1	-1660792,2	-94843,8	5344,7
16	39673,7	201632,9	16-15	-174088,9	-9999,7	744,9	-331866,5	-19010,0	1694,9	-454768,0	-26028,6	2306,0	-591724,5	-33849,9	3259,6
17	41918,6	201632,9	17-16	8209,1	-404,9	-1825,4	-50991,2	-3785,7	-1468,9	-97112,9	-6419,6	-1239,6	-148527,2	-9355,8	-881,7
18	46057,1	201632,9	18-17	-590991,1	-24448,2	23,3	-1180028,7	-58086,7	3570,1	-1639163,0	-84306,7	5853,8	-2151533,8	-113567,0	9419,8
Sütun no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Çizelge 6.47’de bütün derece-gün bölgelerinde ahşap doğramadan alüminyuma geçişte karbon ve enerji etkisinde ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Benzer şekilde çatı döşeme yalıtımının olmadığı alternatiften, döşeme yalıtımı eklenmesi alternatifine geçişte de önemli mali ve çevresel iyileşmeler birlikte gözlemlenmiştir. Doğrama ve pencere türü değişimleri için de bu iyileşme benzer şekilde sonuçlanmaktadır. Yapıların ısı kaybında ortalama genel kabul çatı için %20-25, duvarlar için %25-40, pencereler için %10-20, zemin için %5-15 değer aralıklarına sahiptir. Bu çalışmada alternatifler arasında malzemelerin değişimi yalıtım özelliklerinin iyileşmesine odaklanmaktadır. Bahsedilen ısı kaybı ortalama kabulleri alternatiflerin değişiminde de gözlemlenmektedir. Örneğin sadece zemin için yapılan iyileşme sadece duvar için yapılan iyileşmeden daha kötü sonuçlar vermektedir. Hesaplanan net bugünkü değer maliyeti birinci derece-gün bölgesinde 8 alternatif için negatif sonuç vermiştir. İkinci derece-gün bölgesinde 6, üçüncü derece-gün bölgesinde 5 ve dördüncü derece-gün bölgesinde 4 alternatif için negatif sonuç hesaplanmıştır. Negatif sonuçlar yapının kabuğunda iyileşmeler için yapılan harcamalardan zarar edildiğini göstermektedir. Bütün derece-gün bölgeleri bir arada değerlendirildiğinde kullanım süresi boyunca elde edilen tasarrufun bugünkü eşdeğer değerinin yatırım maliyetinin bugünkü değerinden yüksek olan seçenek sayısı birinci bölgeden dördüncü bölgeye artış göstermiştir. Örneğin, 6. alternatifte duvar türünü 19 cm Bims bloktan, 20 cm gaz betona değiştirerek 7. alternatif elde edilmiştir. Çizelge 5.47’de 7-6 numaralı alternatif hesabında bu iki alternatif arasındaki değişim birinci derece-gün bölgesi için 13.418 \$ net bugünkü değeri hesaplanırken, ikinci bölgede 32.269 \$, üçüncü bölgede 44.227 \$ ve dördüncü bölgede 62.811 \$ net bugünkü değeri elde edilmiştir.

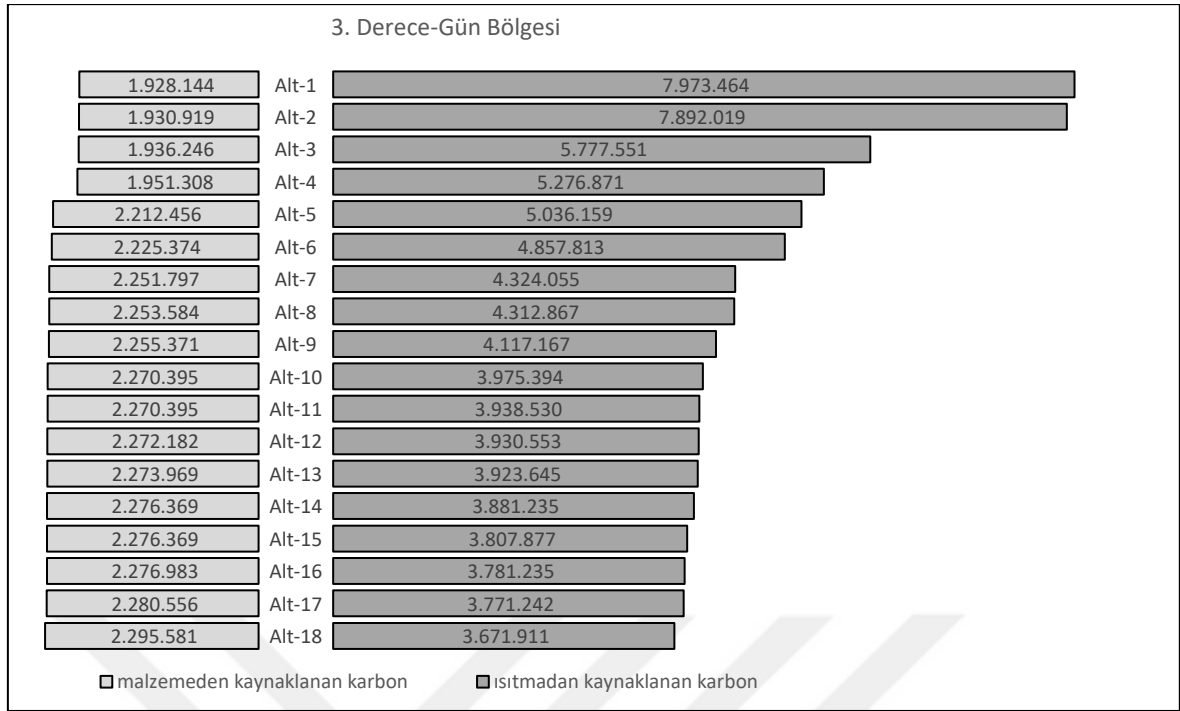
Maliyet analizinin yanı sıra Derslik yapısı için verilen alternatiflerin karbon değişimi Şekil 6.5-8’de grafik olarak sunulmuştur. Alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbon oranı grafiklerde birlikte verilmiştir.



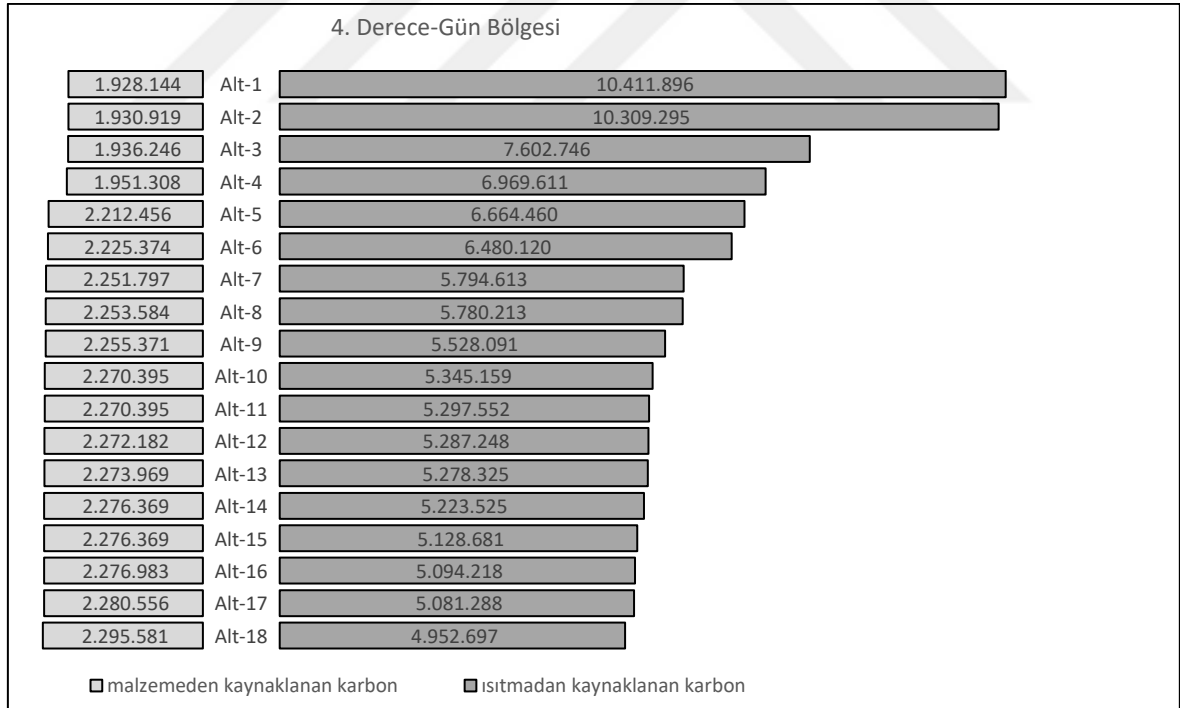
Şekil 6.5 : Derslik yapısı DG-1 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.



Şekil 6.6 : Derslik yapısı DG-2 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.



Şekil 6.7 : Derslik yapısı DG-3 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.



Şekil 6.8 : Derslik yapısı DG-4 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.

Şekil 6.5-8’de her bir alternatifin yapı malzemelerinin üretiminden ve ısıtma amaçlı doğalgaz tüketiminden kaynaklanan karbon miktarları bir arada verilmiştir. Malzemeden

kaynaklanan gömülü karbon miktarı bütün derece-gün bölgeleri için aynıdır. Fakat bu malzemelerin her bir derece-gün bölgesindeki operasyonel karbon miktarına etkisi değişkenlik göstermektedir. Birinci bölgeden dördüncü bölgeye sırasıyla operasyonel karbon miktarı artış göstermektedir. Yapının her bir alternatifinde kabuğundaki iyileşmenin operasyonel karbondaki azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra birinci bölgeden dördüncü bölgeye gidildikçe yapı kabuğundaki iyileşmenin operasyonel karbon üzerindeki etkisi daha fazla artmıştır. Birinci bölgeden dördüncü bölgeye gidildikçe gömülü karbondaki bir birim artış operasyonel karbonu daha çok azaltmaktadır.

Benzer hesaplama adımları Konut için de yapılmıştır. Konut yapısı için oluşturulan alternatifler Çizelge 6.48’de verilmektedir. Alternatifleri oluşturan yapı malzemelerinin poz numaraları ise Çizelge 6.49’da sunulmuştur.

Çizelge 6.48 : Konut yapısı için oluşturulan alternatifler.

Alt.	Doğrama Tipi	Cam türü	Cam kalınlığı	Çatı yalıtım camyünü kalınlık	Zemin	Duvar	Duvar mantolama	Betonarme mantolama
1	Ahşap	Tek camlı	4+4 mm	Yok	Yok	Düz Tuğla 19 cm	-	-
2	Ahşap	Tek camlı	4+4 mm	Yok	Yok	Düz Tuğla 19 cm	-	-
3	Ahşap	Çift camlı-kaplamasız cam-6 mm boşluklu	5+5 mm	6 cm	Yok	Bims 19 cm	-	-
4	Plastik	Çift camlı-kaplamasız cam-12 mm boşluklu	6+6 mm	8 cm	Yok	Bims 19 cm	-	6 cm taşıyünü
5	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-6 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	3 cm XPS	Bims 19 cm	-	6 cm taşıyünü
6	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-6 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	3 cm XPS	Gaz Beton 20 cm	-	6 cm taşıyünü
7	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-6 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	4 cm XPS	Gaz Beton 20 cm	-	6 cm taşıyünü
8	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-9 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	5 cm XPS	Gaz Beton 20 cm	-	6 cm taşıyünü
9	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-9 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	5 cm XPS	Gaz Beton 25 cm	-	6 cm taşıyünü
10	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-12 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	5 cm XPS	Gaz Beton 25 cm	-	6 cm taşıyünü
11	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-12 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	6 cm XPS	Gaz Beton 30 cm	-	6 cm taşıyünü
12	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-12 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	7 cm XPS	Gaz Beton 30 cm	-	6 cm taşıyünü
13	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-12 mm boşluklu	6+6 mm	12 cm	8 cm XPS	Gaz Beton 30 cm	-	6 cm taşıyünü
14	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-16 mm boşluklu	6+6 mm	12 cm	8 cm XPS	Gaz Beton 30 cm	-	6 cm taşıyünü
15	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-16 mm boşluklu	6+6 mm	14 cm	8 cm XPS	Gaz Beton 30 cm	-	6 cm taşıyünü
16	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-16 mm boşluklu	6+6 mm	14 cm	10 cm XPS	Gaz Beton 30 cm	-	6 cm taşıyünü
17	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-6 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	3 cm XPS	Düz Tuğla 19 cm	6 cm grafiti EPS	6 cm grafiti EPS
18	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-9 mm boşluklu	6+6 mm	10 cm	5 cm XPS	Düz Tuğla 19 cm	8 cm taşıyünü	8 cm taşıyünü
19	Plastik	Çift camlı-lowE-kaplamalı cam-16 mm boşluklu	6+6 mm	14 cm	10 cm XPS	Düz Tuğla 19 cm	8 cm XPS	8 cm taşıyünü

Çizelge 6.49 : Konut yapısı için oluşturulan yapı malzemesi alternatiflerinin poz numaraları.

Konut							
Alt.	Doğrama türü	Cam türü	Çatı türü	Zemin türü	Duvar türü	Duvar mantolama türü	Betonarme mantolama türü
1	155151001	154701002	YOK	YOK	152201005	YOK	YOK
2	155151001	154701002	YOK	YOK	152201005	YOK	YOK
3	155151001	154701003	153401401	YOK	152301006	YOK	YOK
4	154551001	154701213	153401402	YOK	152301006	YOK	153401004
5	154551001	154701214	153401403	153351501	152301006	YOK	153401004
6	154551001	154701214	153401403	153351501	152251010	YOK	153401004
7	154551001	154701214	153401403	153351502	152251010	YOK	153401004
8	154551001	154701214	153401403	153351503	152251010	YOK	153401004
9	154551001	154701214	153401403	153351503	152251012	YOK	153401004
10	154551001	154701214	153401403	153351503	152251012	YOK	153401004
11	154551001	154701214	153401403	153351504	152251014	YOK	153401004
12	154551001	154701214	153401403	153351505	152251014	YOK	153401004
13	154551001	154701214	153401404	153351506	152251014	YOK	153401004
14	154551001	154701424	153401404	153351506	152251014	YOK	153401004
15	154551001	154701424	153401405	153351506	152251014	YOK	153401004
16	154551001	154701424	153401405	153351507	152251014	YOK	153401004
17	154551001	154701214	153401403	153351501	152201005	153351204	153351204
18	154551001	154701214	153401403	153351503	152201005	153401006	153401006
19	154551001	154701424	153401405	153351507	152201005	153351006	153351006

Isınma enerjisi hesabında kullanılacak malzemelerin yalıtım değerleri Çizelge 6.50’de verilmiştir.

Çizelge 6.50 : Konut yapısı için oluşturulan alternatiflerin yalıtım değerleri.

Alt.	Cam-u değeri	Çatı yalıtım kalınlığı-m	Çatı yalıtım-λ	Zemin yalıtım kalınlığı-m	Zemin yalıtım-λ	Duvar türü yalıtım kalınlığı-m	Duvar türü yalıtım-λ	Duvar mantolama kalınlığı-m	Duvar mantolama-λ	Betonarme mantolama kalınlığı-m	Betonarme mantolama-λ
1	5,1	0	0	0	0	0,19	0,33	0	0	0	0
2	4,9	0	0	0	0	0,19	0,33	0	0	0	0
3	3,1	0,06	0,035	0	0	0,19	0,36	0	0	0	0
4	3	0,08	0,035	0	0	0,19	0,36	0	0	0,06	0,035
5	2,9	0,1	0,035	0,03	0,03	0,19	0,36	0	0	0,06	0,035
6	2,9	0,1	0,035	0,03	0,03	0,2	0,2	0	0	0,06	0,035
7	2,9	0,1	0,035	0,04	0,03	0,2	0,2	0	0	0,06	0,035
8	2,4	0,1	0,035	0,05	0,03	0,2	0,2	0	0	0,06	0,035
9	2,4	0,1	0,035	0,05	0,03	0,25	0,2	0	0	0,06	0,035
10	2,3	0,1	0,035	0,05	0,03	0,25	0,2	0	0	0,06	0,035
11	2,3	0,1	0,035	0,06	0,03	0,3	0,2	0	0	0,06	0,035
12	2,3	0,1	0,035	0,07	0,03	0,3	0,2	0	0	0,06	0,035
13	2,3	0,12	0,035	0,08	0,03	0,3	0,2	0	0	0,06	0,035
14	2,1	0,12	0,035	0,08	0,03	0,3	0,2	0	0	0,06	0,035
15	2,1	0,14	0,035	0,08	0,03	0,3	0,2	0	0	0,06	0,035
16	2,1	0,14	0,035	0,1	0,03	0,3	0,2	0	0	0,06	0,035
17	2,9	0,1	0,035	0,03	0,03	0,19	0,33	0,06	0,03	0,06	0,03
18	2,4	0,1	0,035	0,05	0,03	0,19	0,33	0,08	0,04	0,08	0,04
19	2,1	0,14	0,035	0,1	0,03	0,19	0,33	0,08	0,03	0,08	0,03

Yapının 4 derece-gün bölgesi için ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları Çizelge 6.51’de sunulmaktadır. 4 farklı derece-gün bölgesi için hesaplanan her bir alternatifin net bugünkü değeri ve enerji-karbon değişimi hesaplanarak yatırımın mali değişiminin karbon ve enerji üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çizelge 6.51 : Konut yapısı için oluşturulan alternatiflerin enerji ihtiyacı analizi sonuçları.

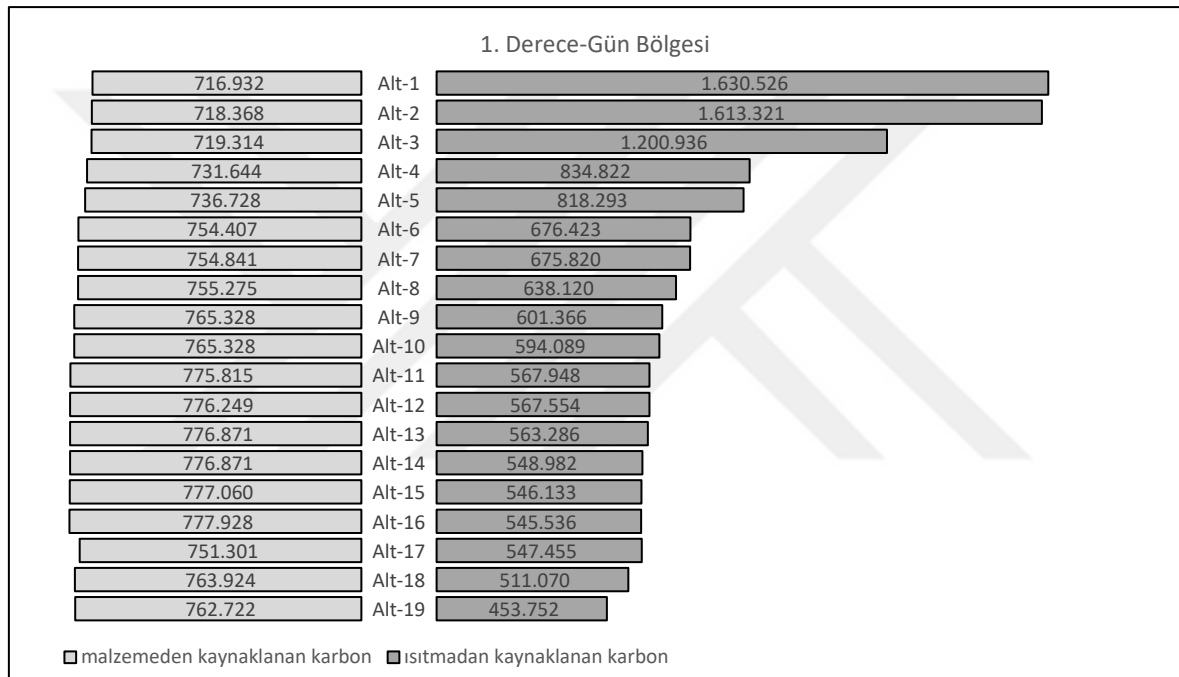
Yıllık Alt.	DG-1				DG-2				DG-3				DG-4			
	Doğalgaz miktarı-m ³	Enerji MJ	Karbon kgCO ₂	Maliyet \$	Doğalgaz miktarı-m ³	Enerji MJ	Karbon kgCO ₂	Maliyet \$	Doğalgaz miktarı-m ³	Enerji MJ	Karbon kgCO ₂	Maliyet \$	Doğalgaz miktarı-m ³	Enerji MJ	Karbon kgCO ₂	Maliyet \$
1	1,49E+04	3,82E+03	5,71E+05	3,26E+04	2,81E+04	7,18E+03	1,07E+06	6,14E+04	3,87E+04	9,89E+03	1,48E+06	8,45E+04	5,03E+04	1,29E+04	1,93E+06	1,10E+05
2	1,48E+04	3,78E+03	5,65E+05	3,23E+04	2,78E+04	7,11E+03	1,06E+06	6,08E+04	3,83E+04	9,80E+03	1,47E+06	8,37E+04	4,98E+04	1,28E+04	1,91E+06	1,09E+05
3	1,10E+04	2,81E+03	4,21E+05	2,40E+04	2,12E+04	5,41E+03	8,10E+05	4,63E+04	2,94E+04	7,51E+03	1,12E+06	6,42E+04	3,84E+04	9,83E+03	1,47E+06	8,40E+04
4	7,64E+03	1,95E+03	2,92E+05	1,67E+04	1,51E+04	3,87E+03	5,79E+05	3,31E+04	2,11E+04	5,41E+03	8,09E+05	4,62E+04	2,81E+04	7,19E+03	1,08E+06	6,15E+04
5	7,49E+03	1,92E+03	2,87E+05	1,64E+04	1,49E+04	3,80E+03	5,69E+05	3,25E+04	2,08E+04	5,31E+03	7,94E+05	4,54E+04	2,76E+04	7,07E+03	1,06E+06	6,04E+04
6	6,19E+03	1,58E+03	2,37E+05	1,35E+04	1,25E+04	3,19E+03	4,77E+05	2,72E+04	1,75E+04	4,48E+03	6,71E+05	3,83E+04	2,35E+04	6,01E+03	8,99E+05	5,13E+04
7	6,18E+03	1,58E+03	2,37E+05	1,35E+04	1,25E+04	3,19E+03	4,77E+05	2,72E+04	1,75E+04	4,48E+03	6,70E+05	3,83E+04	2,35E+04	6,01E+03	8,98E+05	5,13E+04
8	5,84E+03	1,49E+03	2,23E+05	1,28E+04	1,18E+04	3,02E+03	4,52E+05	2,58E+04	1,66E+04	4,26E+03	6,37E+05	3,64E+04	2,23E+04	5,72E+03	8,55E+05	4,88E+04
9	5,50E+03	1,41E+03	2,11E+05	1,20E+04	1,12E+04	2,86E+03	4,28E+05	2,44E+04	1,58E+04	4,04E+03	6,04E+05	3,45E+04	2,12E+04	5,44E+03	8,13E+05	4,64E+04
10	5,44E+03	1,39E+03	2,08E+05	1,19E+04	1,11E+04	2,83E+03	4,23E+05	2,42E+04	1,56E+04	3,99E+03	5,97E+05	3,41E+04	2,10E+04	5,38E+03	8,05E+05	4,60E+04
11	5,20E+03	1,33E+03	1,99E+05	1,14E+04	1,06E+04	2,71E+03	4,06E+05	2,32E+04	1,50E+04	3,84E+03	5,74E+05	3,28E+04	2,02E+04	5,18E+03	7,74E+05	4,42E+04
12	5,19E+03	1,33E+03	1,99E+05	1,14E+04	1,06E+04	2,71E+03	4,06E+05	2,32E+04	1,50E+04	3,83E+03	5,73E+05	3,27E+04	2,02E+04	5,17E+03	7,74E+05	4,42E+04
13	5,15E+03	1,32E+03	1,97E+05	1,13E+04	1,05E+04	2,69E+03	4,03E+05	2,30E+04	1,49E+04	3,81E+03	5,70E+05	3,25E+04	2,01E+04	5,14E+03	7,69E+05	4,39E+04
14	5,02E+03	1,29E+03	1,92E+05	1,10E+04	1,03E+04	2,63E+03	3,93E+05	2,25E+04	1,45E+04	3,72E+03	5,57E+05	3,18E+04	1,96E+04	5,00E+03	7,49E+05	4,27E+04
15	5,00E+03	1,28E+03	1,91E+05	1,09E+04	1,02E+04	2,62E+03	3,92E+05	2,24E+04	1,45E+04	3,70E+03	5,54E+05	3,16E+04	1,95E+04	4,98E+03	7,45E+05	4,26E+04
16	4,99E+03	1,28E+03	1,91E+05	1,09E+04	1,02E+04	2,61E+03	3,91E+05	2,23E+04	1,45E+04	3,70E+03	5,54E+05	3,16E+04	1,95E+04	4,98E+03	7,45E+05	4,25E+04
17	5,01E+03	1,28E+03	1,92E+05	1,09E+04	1,03E+04	2,62E+03	3,92E+05	2,24E+04	1,45E+04	3,71E+03	5,55E+05	3,17E+04	1,95E+04	4,99E+03	7,47E+05	4,26E+04
18	4,68E+03	1,20E+03	1,79E+05	1,02E+04	9,62E+03	2,46E+03	3,68E+05	2,10E+04	1,36E+04	3,49E+03	5,22E+05	2,98E+04	1,84E+04	4,71E+03	7,04E+05	4,02E+04
19	4,15E+03	1,06E+03	1,59E+05	9,08E+03	8,62E+03	2,20E+03	3,30E+05	1,88E+04	1,23E+04	3,14E+03	4,69E+05	2,68E+04	1,66E+04	4,25E+03	6,36E+05	3,63E+04

Çizelge 6.52 : Konut yapısı yatırım-karbon-enerji ilişkisi.

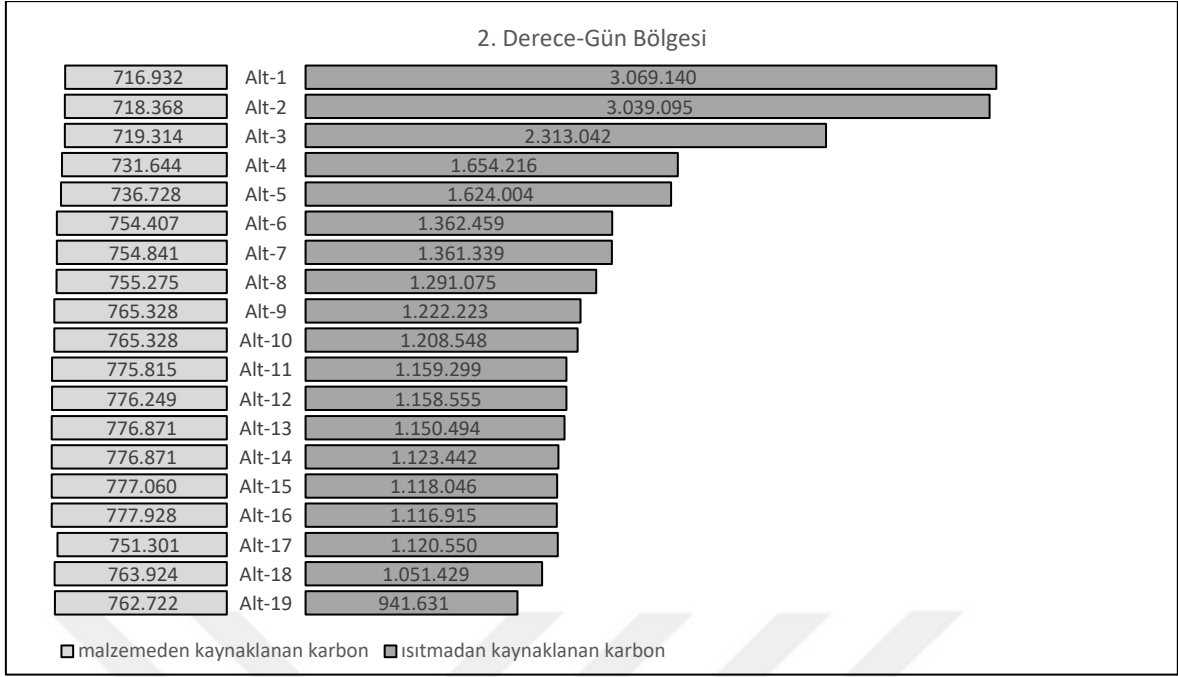
Alt.	Yenilenmeyen malzemelerin maliyeti-Ş	Yenilenen malzemelerin maliyeti-Ş	Alt. Farkları	DG-1			DG-2			DG-3			DG-4		
				Enerji değişimi	Karbon değişimi	NBD	Enerji değişimi	Karbon değişimi	NBD	Enerji değişimi	Karbon değişimi	NBD	Enerji değişimi	Karbon değişimi	NBD
1	9531,5	26103,0													
2	9531,5	31308,5	2-1	-273045,1	-15769,2	-2944,6	-497887,9	-28609,4	-1652,9	-678247,2	-38909,3	-616,8	-864314,8	-49535,2	452,1
3	8766,7	46910,4	3-2	-7190754,7	-411439,2	28236,3	-12683336,0	-725107,2	59790,3	-17065105,0	-975339,4	84962,8	-21803736,0	-1245951,1	112185,5
4	27789,6	22579,5	4-3	-6193188,8	-353784,2	39660,3	-11318802,3	-646495,5	69106,1	-15531630,4	-887079,9	93308,1	-19526312,6	-1115206,5	116256,9
5	28840,3	24745,4	5-4	-212604,8	-11445,4	-1333,4	-452216,6	-25129,1	43,1	-636779,4	-35669,0	1103,4	-836380,8	-47067,8	2250,1
6	35174,1	24745,4	6-5	-2315274,7	-124190,9	7937,9	-4410870,2	-243865,3	19976,7	-6025856,6	-336093,3	29254,5	-7778327,0	-436172,6	39322,2
7	35446,8	24745,4	7-6	-1085,4	-168,1	-212,1	-10146,2	-685,6	-160,1	-17135,1	-1084,7	-119,9	-24746,4	-1519,4	-76,2
8	35719,6	24900,2	8-7	-650704,0	-37266,3	3380,8	-1220930,7	-69830,5	6656,7	-1660949,9	-94959,0	9184,5	-2140733,3	-122358,2	11940,8
9	38434,8	24900,2	9-8	-576552,5	-26701,8	982,2	-1138606,4	-58799,3	4211,1	-1572726,7	-83590,9	6705,0	-2047296,7	-110692,4	9431,4
10	38434,8	25055,0	10-9	-127419,9	-7276,6	593,0	-239453,9	-13674,6	1236,6	-326044,5	-18619,6	1734,1	-420862,1	-24034,4	2278,8
11	41476,6	25055,0	11-10	-381237,1	-15654,0	-412,1	-785876,1	-38761,9	1912,5	-1098803,5	-56632,4	3710,2	-1441939,8	-76228,1	5681,4
12	41749,3	25055,0	12-11	2553,4	39,7	-233,1	-3579,7	-310,6	-197,8	-8325,2	-581,6	-170,6	-13534,7	-879,1	-140,6
13	42133,9	25055,0	13-12	-61665,4	-3645,5	44,8	-128071,3	-7437,8	426,3	-179456,6	-10372,3	721,5	-235879,1	-13594,4	1045,6
14	42133,9	27736,8	14-13	-250465,4	-14303,5	-969,8	-473707,7	-27052,3	312,7	-646520,5	-36921,2	1305,4	-1017360,8	-58099,0	3435,9
15	42248,7	27736,8	15-14	-46275,9	-2660,5	171,7	-90870,5	-5207,2	427,9	-125404,2	-7179,3	626,3	-162268,0	-9284,5	838,1
16	42794,2	27736,8	16-15	8468,2	271,3	-485,4	-883,0	-262,7	-431,7	-8125,0	-676,3	-390,1	-15857,4	-1117,9	-345,7
17	40881,1	24745,4	17-16	-108485,6	-24708,2	4406,8	-78442,2	-22992,5	4234,2	-55175,7	-21663,8	4100,6	-30336,0	-20245,2	3957,9
18	45859,2	24900,2	18-17	-471010,9	-23762,5	-1456,9	-1044245,7	-56498,6	1836,2	-1488540,7	-81871,2	4388,6	-1963960,5	-109021,3	7119,9
19	47897,7	27736,8	19-18	-918396,9	-58520,1	1179,8	-1837359,0	-110999,8	6459,1	-2551511,0	-151783,3	10561,8	-3320931,7	-195723,0	14982,0

Net bugünkü değer hesabı, 4 derece-gün bölgesi için Çizelge 6.52’de verilmektedir. Hesaplanan net bugünkü değer maliyeti birinci derece-gün bölgesinde 8 alternatif için negatif sonuç vermiştir. İkinci derece-gün bölgesinde 4, üçüncü derece-gün bölgesinde 4 ve dördüncü derece-gün bölgesinde 3 alternatif için negatif sonuç hesaplanmıştır. Negatif sonuçların ikinci ve üçüncü derece-gün bölgelerinde aynı sayıda olsa da üçüncü bölgede bu değerler azaltmaktadır.

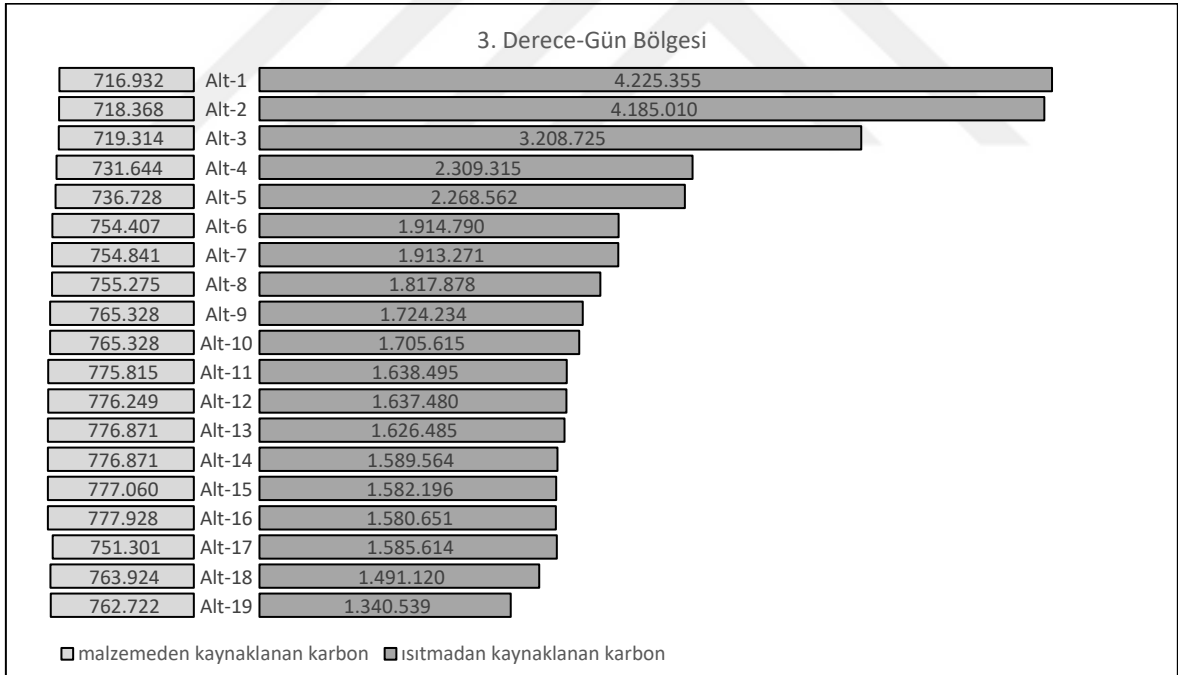
Konut yapısı için verilen alternatiflerin karbon değişimi Şekil 6.9-12’de grafik olarak sunulmuştur. Alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbon oranı grafiklerde birlikte verilmiştir.



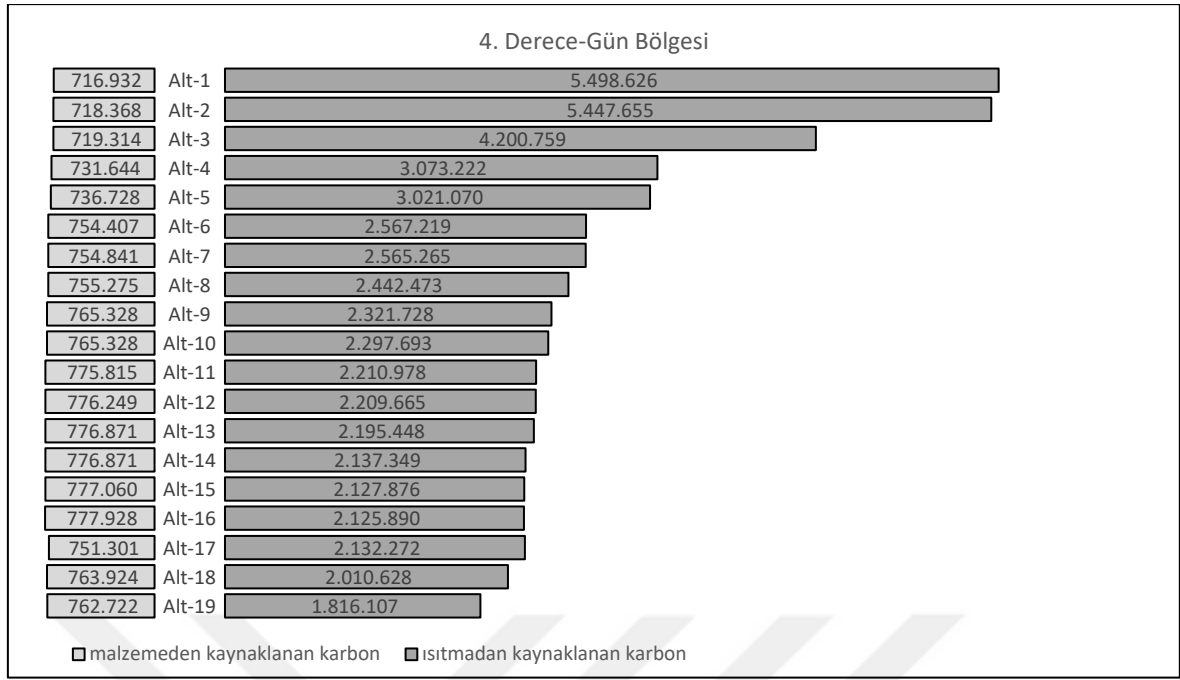
Şekil 6.9 : Konut yapısı DG-1 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.



Şekil 6.10 : Konut yapısı DG-2 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.



Şekil 6.11 : Konut yapısı DG-3 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.



Şekil 6.12 : Konut yapısı DG-4 için alternatiflerin gömülü ve operasyonel karbonu.

Şekil 6.9-12’de verilen sonuçlarda her bir alternatifin malzemeden ve doğalgazdan kaynaklanan karbonun değeri bir arada verilmiştir. Operasyonel karbon ile gömülü karbon arasındaki ilişki Derslik yapısında olduğu gibi Konutta da değişmemiştir.

6.4 Geliştirilen Uygulama ile Analiz

Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen YapıCEA uygulaması ile Derslik yapısının çevresel etki ve maliyet analizi yapılmıştır. Analiz, öncelikle hesap cetveli temelli bir uygulamayla ve ardından YapıCEA uygulaması geliştirilerek bu uygulama ile yapılmıştır. Analiz aracı, Bölüm 3.2.1’de anlatılan ve manuel hesaplamalarda da kullanılan veri tabanı ile geliştirilmiştir.

Uygulamanın kullanıcı arayüzü Şekil 6.13’te sunulmuştur. Uygulama, iki temel sayfadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki, poz numaralarının sorgulandığı ve miktarı girilerek analize eklendiği ‘yapı çevre analizi’; ikincisi ise kullanılan tüm yapı malzemelerinin bütün çevresel etki göstergelerinin ve maliyetin analiz sonuçlarının verildiği ‘analiz sonuç’ sayfasıdır. Ekranda, sağ üstte olan ‘poz numarasını giriniz’ kutucuğu ile sorgu yapılır ya da sağ altta bulunan ‘önceki-sonraki sayfalar arasında geçiş’ ile aranılan poz analize eklenir. Poz miktarı ‘ekle’ butonunun yanına miktar girildikten sonra eklenir. Eklenen her bir yapı malzemesi analiz sayfasına atanır. Analiz sayfasında, maliyet ve her bir çevresel kriterin sonucu toplam şekilde tablolar ile verilir. Bunun yanı sıra uygulama yapının ‘Emisyon

Ticaret Sistemi değerini de vermektedir. Ülkemiz henüz emisyon ticaret sistemine geçmediğinden 1 ton karbonun fiyatı (85\$) Avrupa ortalaması kabul edilmiştir.

Uygulama toplamda 6562 poz için maliyet ve/veya çevresel kriterlerin sonucunu sunmaktadır. Bu pozlar inşaat yapı malzemelerinin maliyet ve çevresel kriterlerinin birim değerlerini ve aynı zamanda makine, teçhizat ve işçi pozlarının maliyet birim değerlerini içermektedir. Çalışma kapsamında yapıların çevresel etki hesabı sadece yapı malzemeleri için yapılırken, yapıların maliyeti malzeme, makine ve işçilik için yapılmıştır. Bundan dolayı yapı malzemeleri dışındaki pozların çevresel kriterlerinin değeri yoktur.



		Yapı Çevresel Etki Analizi									
Analiz Yapı Çevre Analizi Analiz Sonuç		10 Sıtr Göster Poz Numarası Poz Açıklaması Coğrafi Kapsam Adres Birimi Birim Fiyatı (\$) Miktar									
103301781		INORGANİK MENŞELİ (TAŞYUNÜ)-Şilte:Teknik ve yapıda ısı ses ve yangın yalıtımında...									
103301782		INORGANİK MENŞELİ (TAŞYUNÜ)-Şilte:Teknik ve yapıda ısı ses ve yangın yalıtımında...									
103301783		INORGANİK MENŞELİ (TAŞYUNÜ)-Şilte:Teknik ve yapıda ısı ses ve yangın yalıtımında...									
103301784		INORGANİK MENŞELİ (TAŞYUNÜ)-Şilte:Teknik ve yapıda ısı ses ve yangın yalıtımında...									
103301785		INORGANİK MENŞELİ (TAŞYUNÜ)-Şilte:Teknik ve yapıda ısı ses ve yangın yalıtımında...									
103302000		INORGANİK MENŞELİ (TAŞYUNÜ)-Şilte:Teknik ve yapıda ısı ses ve yangın yalıtımında...									
103302001		EKSPANDE (Genleştirilmiş) POLİSTREN KÖPÜK (EPS) LEVHALAR (TS EN 13163+A2)-Yangın...									
103302002		EKSPANDE (Genleştirilmiş) POLİSTREN KÖPÜK (EPS) LEVHALAR (TS EN 13163+A2)-Yangın...									
103302003		EKSPANDE (Genleştirilmiş) POLİSTREN KÖPÜK (EPS) LEVHALAR (TS EN 13163+A2)-Yangın...									
103302004		EKSPANDE (Genleştirilmiş) POLİSTREN KÖPÜK (EPS) LEVHALAR (TS EN 13163+A2)-Yangın...									
2,861 ile 2,870 Arası Görüntüleniyor / 6,562 Satırdan.		Önceki 1 ... 286 287 288 ... 657 Sonraki									
2024 © Influence - Designed by ERZURUM											

Şekil 6.13 : YapıCEA uygulaması kullanıcı arayüzü-1.

Uygulamanın kullanıcı arayüzünde inşaat yapı malzemelerinin poz numaraları, pozların açıklaması, çevresel verilerin alındığı EPD belgesinin adresi, Bölüm 6.1.1’de detayları sunulan EPD belgelerinin coğrafi kapsamı, pozun birimi, pozun birim fiyatı ve analize eklenecek metraj değerinin yazılacağı bir girdi kutucuğu bulunmaktadır. Coğrafi kapsam, rayiç pozlar için veriliyorken iş tariflerini temsil eden birim analiz pozları için verilmemektedir. Bunun sebebi iş tariflerinin birden çok sayıda rayiç pozu içermesidir. Şekil 6.14’te uygulamanın kullanıcı arayüzü örnek olarak verilmiştir. Bilgisayar imleci, poz açıklaması veya adres hücrelerine getirildiğinde ilgili bölümün kopyalanabilir detaylı açıklaması verilmektedir.

Global	https://epdturk...	AD	0,352	1	Ekle
Global	https://epdturk...	AD	0,269	1	Ekle
Global	https://epdturk...	AD	0,322	1	Ekle
Global	https://epdturk...	AD	0,376	1	Ekle
Global	https://epdturkey.org/wp-content/uploads/2022/10/EN-S-P-04881_Construction_Saray_Hand-made-Brick_EN_EPDTurkey.pdf	AD	0,418	1	Ekle

Şekil 6.14 : YapıCEA uygulaması kullanıcı arayüzü-2.

Uygulama ekranında sağ üstte bulunan ‘Poz Numarası Giriniz:’ bölümünde sorgu yapılarak aranan verilere daha hızlı bir erişim sağlanmaktadır. Şekil 6.15’te poz numarası sorgulama için örnek verilmiştir. Arama kutusuna her bir sayı eklendiğinde, veri tabanında bu sayı ile uyumlu dizilime sahip olanlar sıralanmaktadır. Poz numarasının ilk rakamları girildiğinde bu sayı ile veri tabanında eşleşen tüm kayıtlar getirilmektedir. Örneğin arama kutusuna ‘153351’ değeri girildiğinde 6562 poz içerisinde bu girilen değerle eşleşen 52 poz listelenir. Arama işlemi poz numarasının dışında Şekil 6.16’da verildiği gibi kelimeler ile de yapılmaktadır. ‘Yalıtım sandviç’ kelimeleri aratıldığında, bununla ilgili 141 poz listelenmektedir.

Yapı Çevresel Etki Analizi									
10 Satır Göster Poz Numarası Poz Açıklaması Coğrafi Kapsam Adres Birimi Birim Fiyatı (\$) Miktar Poz Numarası Giriniz : yalıtım sandviçi									
101302401	EPS Yalıtımlı (EPS min. 16 kg/m ³ yoğunlukta) Sandviç Tuğlalar (TS EN 771-1 + A1)...	Germany-Italy	https://data.lc...	M²	6,569	1	Ekle		
101302402	EPS Yalıtımlı (EPS min. 16 kg/m ³ yoğunlukta) Sandviç Tuğlalar (TS EN 771-1 + A1)...	Germany-Italy	https://data.lc...	M²	8,36	1	Ekle		
101302403	EPS Yalıtımlı (EPS min. 16 kg/m ³ yoğunlukta) Sandviç Tuğlalar (TS EN 771-1 + A1)...	Germany-Italy	https://data.lc...	M²	10,749	1	Ekle		
101302421	Camıyını Yalıtımlı Sandviç Tuğlalar (TS EN 771-1 + A1) (UTO)-10 cm kalınlıkta	Germany-Global	https://data.lc...	M²	13,436	1	Ekle		
101302422	Camıyını Yalıtımlı Sandviç Tuğlalar (TS EN 771-1 + A1) (UTO)-20 cm kalınlıkta	Germany-Global	https://data.lc...	M²	15,825	1	Ekle		
101302423	Camıyını Yalıtımlı Sandviç Tuğlalar (TS EN 771-1 + A1) (UTO)-25 cm kalınlıkta	Germany-Global	https://data.lc...	M²	20,304	1	Ekle		
103302601	Poliüretan (PUR) yalıtımlı sandviç çatı paneli-0.50 + 0.40 + (40mm dolgu)	Global	https://api.env...	M²	12,302	1	Ekle		
103302602	Poliüretan (PUR) yalıtımlı sandviç çatı paneli-0.50 + 0.40 + (60mm dolgu)	Global	https://api.env...	M²	13,317	1	Ekle		
103302603	Poliüretan (PUR) yalıtımlı sandviç çatı paneli-0.50 + 0.40 + (60mm dolgu)	Global	https://api.env...	M²	15,407	1	Ekle		
103302604	Poliüretan (PUR) yalıtımlı sandviç çatı paneli-0.50 + 0.40 + (75mm dolgu)	Global	https://api.env...	M²	17,199	1	Ekle		
1 ile 10 Arası Gösteriliyor / 141 Satırdan. (Toplam : 6,562 Satır)									
Önceki 1 2 3 4 5 ... 15 Sonraki									

Şekil 6.16 : Kelime ile sorgu yapılması.

Geliştirilen uygulamanın doğruluğunu test etmek için manuel çözümü yapılan Derslik bloğu uygulama ile de çözülmüştür. Şekil 6.17’de sonuç değerlerini veren ‘Analiz Sonuç’ sayfasının ekran görüntüsü verilmiştir. Analiz edilen yapı 100 poz numarasından oluşmaktadır. Bu pozların her birinin maliyet ve 7 çevresel kriterinin birim değeri sonuç sayfasında verilmektedir. Sonuç sayfasının ilk satırında hesap kriterinin türü ve birimi verilmektedir. En alt satırda ise yapıyı oluşturan poz numaralarının birim çevresel kriter değerleri ile metrajının çarpılarak her bir pozun değerinin toplanmasıyla elde edilen toplam sonuç bölümü verilmektedir. Çalışmanın sınır çerçevesinde faydalı ömür hariç tutularak yapılan manuel çözüm sonuçları ile karşılaştırıldığında uygulamanın %100 doğrulukta çalıştığı belirlenmiştir. Örneğin her iki analiz sonucunda da Maliyet kriteri toplamda 1.292.946\$ bulunmuştur. Yapının tamamı için analiz sonuçları Ek-P’de sunulmuştur.



Şekil 6.17 : YapıCEA uygulaması Derslik yapısı analiz sonuçları-1.

Derslik yapısının ‘üretim ve kurulum’ yaşam dönemi gömülü karbon miktarı yaklaşık 1944,35 tondur. Geliştirilen uygulama Şekil 6.18’de verildiği gibi yapının emisyon ticaret sitemindeki fiyatını 165.269,49\$ olarak hesaplamıştır. Geliştirilen uygulama sayesinde belirlenen birim karbon fiyatına göre yapıların karbon ücreti hesaplanabilmektedir.

155501003	Kg	3.347	2.376	1.9637E-13	0.0056199	0.000151008	0.000014242	1.397E-06	25.96	0.9185	0
155501202	Kg	2.505	0.7326	3.905E-08	0.003938	3.63E-05	5.06E-05	1.1E-06	6.974	0.8228	0
191002423	m3	28.733	304.494	4.83405E-06	0.5372496	0.03369864	0.272304072	0.0001996146	1895.46	58.167	0
191002433	m3	24.053	47.85	6.215E-06	0.2388	0.011955	0.154	0.001727	709.5	30.25	0
485502001	kg	14.068	1.29624	9.4644E-08	0.013992	0.00074844	0.0035904	3.168E-05	19.0796	2.24268	0
485502001	kg	14.068	1.29624	9.4644E-08	0.013992	0.00074844	0.0035904	3.168E-05	19.0796	2.24268	0
Total :		1292946.5	1944347	0.138	8068.946	461.523	2891.801	17.488	17804536	3201686.75	1864750.5

91 ile 100 Arası Gösteriliyor / 100 Satırdan.

Önceki 1 ... 6 7 8 9 Sonraki



Ağaç Eşdeğeri
1944,347 Ton Karbon İçin 9722 Ağaç Dikilmelidir.



Emisyon Ticaret Sistemi Değeri
1944,347 Ton Karbonun Emisyon Ticaret Sistemindeki Değeri : 165269,55

2024 © Influence - Designed by E.ERZURUM

Şekil 6.18 : YapıCEA uygulaması Derslik yapısı analiz sonuçları-2.

Geliştirilen uygulama görsel tasarım olarak yeterlidir. En az bilgi düzeyine sahip kullanıcılar sezgisel olarak uygulama arayüzünde gezinebilmektedirler. Uygulama web tabanlı geliştirildiğinden sadece tarayıcı destekli cihazlarda kullanılabilir. Ayrıca ağ bağlantısı da uygulamanın kullanılabilmesi için gerekli şartlardan biridir. Kullanılan verilerin adresleri sunulduğundan dolayı, verilere kullanıcılar da erişebilmektedir. Uygulamanın veri girme süresi her bir poz için ortalama 6-10 saniyedir. Her yapı farklı miktarlarda poza sahip olduğundan bu süre yapıya göre değişmektedir. Derslik yapısı ortalama 12 dakikada analiz edilmiştir.

Poz numaralarına atanan veriler sabittir ve bunların belirli periyotlarla güncellenmesi gerekliliği geliştirilen uygulamanın verinin doğasından kaynaklanan olumsuzlukların biridir. Her bir poz için bir EPD belgesi kullanılmıştır. Bunun yerine pozu temsil eden bütün EPD belgelerindeki veriler derlenerek ortalamaları ile analizler yapılabilir. Poz numaralarının çevresel kriterlerinin birim değerlerinin karşılaştırması yetersiz alandan dolayı kullanıcı arayüzünde verilmemektedir. Bundan dolayı iki malzeme için karşılaştırma işlemi poz sorgu sayfasında yapılamamaktadır. Her bir poz için açılabilir açıklama penceresi ya da pozların

etkilerini karşılaştırmak için ayrı bir sayfa yapılarak uygulama geliştirilebilir. Çalışma kapsamında geliştirilen bu araç yapı üreticileri için yapıların maliyet ve çevresel etkilerini uygulama kolaylığı sağlamaktadır.



7. SONUÇLAR

Bu bölümde teorik araştırma ve yapılan analizler sonucunda elde edilen temel bulgular üzerinden bir tartışma sunulmuştur. Ardından çevresel etki ve maliyeti azaltmak için uygulanacak stratejiler temel bulgular dikkate alınarak önerilmiştir. Son olarak çalışma sonucu ortaya çıkan araştırma soruları vurgulanarak gelecek çalışmalara yönelik önerilerle bölüm sonlandırılmıştır.

7.1 Tezin Literatüre Katkısı

Bu çalışmanın hedefleri doğrultusunda tezin kabul edilen çerçevesinde ulaşılan sonuçların literatüre katkısı şu şekilde sunulmuştur:

1. Yapıların çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik çok kriterli bir yöntem geliştirilmesi,

- Çalışmada çok kriterli bir karar destek sistemi önerilerek yapıların ön tasarım aşamasında çevresel etkilerinin değerlendirilmesine katkı sağlanmıştır. Yapılara ait iş kalemlerine hem iş tarifleri hem de yapım alternatifleri oluşturularak yapıların maliyet ve çevresel etkisi üretim, kurulum ve kullanım yaşam dönemlerinde farklı alternatifler için belirlenmiştir. Yapıların üretim, kurulum ve kullanım yaşam döneminde malzemeden kaynaklanan çevresel etkileri hesaplamak için çok kriterli bir yöntem önerilmiş ve bu yaşam dönemlerinin etkisi belirlenmiştir. Yapının dış kabuğunu oluşturan malzeme türlerinin ısı yalıtım değerleri tanımlanarak oluşturulan farklı yapım alternatiflerine göre yapının kullanım döneminde ortaya çıkan maliyet ve çevresel etkileri de hesaplanmıştır. Bu sayede hangi yaşam dönemine ve hesap kriterine göre yapılan tasarımının en fazla iyileşmeyi vereceği araştırılmıştır.

2. Yapıyı oluşturan malzemelerin çevresel performans göstergelerinin (GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF) ve maliyetinin hesaplanması,

- Literatürde ağırlıklı olarak gömülü karbon ve gömülü enerji ile ilgili çalışmalar yapılırken bu araştırmada iki farklı yapı için GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF'den oluşan çevresel kriterler dikkate alınmıştır. Yapı malzemelerinin faydalı ömrünü de dikkate alan, yapı malzemeleri için sadece üretim yaşam dönemi ile sınırlı olmayan, yapının kurulum ve kullanım yaşam dönemindeki malzemedan kaynaklanan çevresel etkilerini analizlere dahil ederek hesaplamalar yapılmıştır.
- Hesaplamalar iş tariflerinden yararlanılarak yapıldığı için sadece ana yapı malzemesini değil ilgili malzemeyi inşa etmek için gerekli olan harç, çivi, file gibi yardımcı yapı malzemeleri de içermektedir. Literatürde yapıları oluşturan yardımcı malzemelerin etkisini ölçen bir çalışma yoktur. Bundan dolayı bu çalışmanın katkılarında biri de hesaplamalara tüm yapı malzemelerinin eklenmesiyle oluşan çevresel etkinin ölçülmesidir.

3. Çevresel performans göstergelerini ve maliyeti en çok etkileyen yapı malzemelerinin belirlenmesi,

- GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF ve Maliyet kriterlerini en çok etkileyen iş kalemleri belirlenmiştir. Analiz edilen yapılar için beton, donatı, kalıp, PVC, alüminyum ve türevleri, karo iş kalemleri bu 8 kriter içinde önemli etki oranına sahiptir. Okul yapısında buna asma tavan yani alüminyum plaka iş kalemi eklenmektedir. Değiştirilebilir iş kalemlerinden ise yapıyı en çok etkileyenlerin alüminyum doğrama, boya, porselen karo, gazbeton, asma tavan, cam iş kalemleri olduğu belirlenmiştir. Değiştirilebilir iş kalemlerinin yapıyı etkileme yüzdesinde belirleyici iki kriter vardır. Bunlar; ikame malzemelerin hesap kriterlerinin birim değeri ve kullanım ömürleridir. Örneğin boya iş kalemi tekrarlı kullanımı fazla olduğundan, alüminyum doğrama ise birim çevresel etki kriterleri yüksek olduğundan değiştirilebilir iş kalemlerini yüksek oranda etkilemektedir. Ek olarak yapıları oluşturan malzemelerin kullanım miktarının yapının maliyet ve çevresel kriterleri üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Betonarme karkas bir sistemden oluşan yapının çevresel kriterlerini en çok beton

ve donatının etkilemesinin sebebi bu iki malzemenin sadece çevresel kriterlerinin yüksek olması değil ayrıca yapıda kullanım miktarının da yüksek olmasıdır.

4. Yapının çevresel ve maliyet etkisinin azaltılması:

- ***Çevresel performans göstergelerini ve maliyeti azaltmak için yapıda kullanılan yapı malzemelerine alternatif malzemeler atayarak bunun malzemeden ve enerjiden (doğalgazdan) kaynaklanan çevresel performans göstergeleri ve maliyet üzerindeki etkisinin çok kriterli bir karar destek sistemi geliştirilerek araştırılması,***

- Yapıların çevresel etkilerinin azaltılması çok amaçlı bir optimizasyon problemidir. Çalışmada çevresel etkiler GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF ve Maliyet'ten oluşan 8 hesap kriteri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu çalışmada geliştirilen çok kriterli karar destek sistemi ile yapıların çevresel ve maliyet etkisi her bir kriter için azaltılarak en yüksek iyileşmeyi veren kriter belirlenmiştir. Çalışmanın çerçevesi dahilinde, yapıların çevresel etkilerinin ve maliyetinin iyileşmesinde belirleyici olan kriterin farklılık gösterdiği bulunmuştur. En yüksek iyileşmeyi elde etmek için yapıların ön tasarımda referans alınacak tek bir kriter belirlenememekle birlikte, yüksek iyileşmeyi veren kriter yapıda kullanılan yapı malzemelerinin üretiminde kullanılan hammadde, enerji kaynağı, üretim tekniği ve verimine bağlıdır. Yapılan analizlerde yapıların yaşam döneminde en fazla iyileşme yüzdesini Derslik yapısı için Maliyet kriterine göre yapılan tasarım ve Konut yapısı için AP kriterine göre yapılan tasarım vermiştir. GWP göstergesi literatürün genel olarak belirttiği önemli bir etkidir. Maliyet ve AP ise çevresel etki azaltmasında nispeten yeni kriterlerdir. Bugüne kadar yapılan etki analizleri enerji ve karbon odaklı olmuştur. Eğer çevresel etkiler, küresel ölçekte çoğunlukla tercih edildiği üzere tek etki ölçütü olarak GWP üzerinden tanımlanırsa, diğer göstergeler için önemli etki yüzdelere sahip çevresel etkiler göz ardı edilecektir (Anand ve Amor, 2017). Uygulanan çok kriterli karar destek sistemi ile 7 çevresel kriteri ve 1 maliyet kriterini azaltmak için yapı yeniden modellenerek iyileşme yüzdeleri hesaplanmış ve en yüksek iyileşme yüzdesini veren kriter farklı yaşam dönemlerine göre belirlenmiştir. Uygulanan yöntem sayesinde her bir çevresel kritere ve maliyet kriterine benzer iyileşme işlemleri yapılarak sadece GWP'nin değil diğer çevresel kriterlerin de etkisi ve iyileşmeye katkısı bulunmuştur.

- Çalışmada uygulanan karar destek sistemi hem çok kriterli hem de farklı yaşam dönemlerine göre uygulanmıştır. Yapıların üretim, kurulum ve kullanım yaşam dönemlerinde her bir hesap kriterini etkileyen iş kalemleri ve etki oranları değişebilmektedir. Her bir kriteri azaltmak için yapılan analizler sonucunda en yüksek iyileşmeyi veren hesabın yapıldığı yaşam dönemi belirlenmiştir. Analizlerde yapıda en iyi çevresel sonucu verecek model için tasarımda temel alınacak bir yaşam dönemi belirlenememiştir. Fakat en yüksek iyileşmeyi veren sonuçlarda 'A1-2-3-5/B3-4-5' yaşam döneminin de olması çevresel etkiyi ve maliyeti azaltmak için yapı malzemelerinin faydalı ömrünün dikkate alınarak tasarım yapılmasını göstermektedir.
- Derslik yapısının değiştirilebilir iş kalemlerinin etki yüzdesi konuttaki değiştirilebilir iş kalemlerinin etki yüzdesinden daha fazla olduğundan, derslik yapısındaki iyileşme yüzdeleri daha yüksek oranlar ile sonuçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan örnek yapılarda değiştirilebilir en çok etki yüzdesine sahip ilk 5 iş kaleminden sonra diğer kalemlerin etki oranı %5'in altına düşmektedir.
- Konut yapısı ile kıyaslandığında Derslik yapısının değiştirilebilir iş kalemi türündeki ve etkisindeki farklılığın toplam iyileşme değerini daha fazla değiştirmesinin sebebi, Derslik yapısında yenileme/onarım gibi sebeplerle tekrarlı kullanımı olan yapı malzemelerinin etki oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.
- Çevresel etkiyi azaltmak için yapılan analizde her bir hesap kriterinin toplam iyileşme miktarı artmıştır. Bu iyileşme, iş kaleminin hesap kriterindeki etki yüzdesine bağlıdır. Bunun dışında iş kaleminin metraj miktarı ve iş kalemine atanan alternatif yapı malzemesi ile arasındaki farkın büyüklüğüne de bağlıdır. Ayrıca, alternatif olarak seçilen iş kaleminin faydalı ömrü sonuçlar üzerinde değişikliğe neden olabilir. Bundan dolayı yapıların çevresel etkisini azaltmak için ön tasarım ve yenileme projelerinde yapı malzemelerinin faydalı ömürlerini hesaplamalarda dikkate almak gerekir.
- Yapıda revize edilebilecek iş kalemi sayısının değiştirilmesinin analiz sonucuna etkisi, revize edilebilen iş kalemi sayısı 4, 5 ve 6 olarak değiştirilerek incelenmiştir. Revize edilen iş kalemi sayısındaki artış her zaman pozitif ivmeye sahip bir iyileşme sunmamaktadır. Örneğin, Konut yapısı ADPF kriterini

azaltmak için yapılan tasarımda 5 iş kalemi revize edilmesi durumunda toplam iyileşme %72,34 ve 6 iş kalemi revize edilmesi durumunda iyileşme %69,25 olarak gerçekleşmiştir. İki revizede de iyileşme vardır fakat bunların arasında %-3,09 oranında bir değişim gözlemlenmiştir. Analiz edilen her iki yapıda da hesap kriterlerinde en yüksek etkiye sahip değiştirilebilir ilk 5 iş kaleminden sonra diğer iş kalemlerinin etki yüzdesi %5'in altına düşmektedir. Bu durum daha iyi sonucu elde etme olasılığını azaltmasının yanı sıra dikkate alınan kriterin dışındaki kriterlerde de bozulmalara yol açabilmektedir.

- Çok kriterli karar destek sisteminin uygulanması ile elde edilen yaşam döngüsü matrislerindeki dalgalanmalar, analiz edilen kriterin en iyi sonucunu başka bir kriter verdiği durumda oluşmaktadır. Örneğin, Maliyet kriterini azaltmak için yapılan analizde, Maliyet %3,77 iyileşmiş fakat AP kriterini azaltmak için yapılan analizde Maliyet %5,2 iyileşmiştir. Maliyeti en çok iyileştiren kriterin AP olmasının sebebi, her iki kriterde değiştirilebilir 5 iş kaleminin farklı olmasıdır. Ayrıca AP kriterinde değişen 5 iş kaleminin maliyet değerlerindeki birim azalmanın, Maliyet kriterine göre yapılan analizden daha yüksek olmasıdır.
- Konut yapısında karar destek sisteminden elde edilen sonuca göre en iyi iyileşme yüzdesini veren AP kriterine göre yapılan tasarım, %-93,79 iyileşme değeri ile yapının kullanım dönemindeki ısıtma enerjisi (doğalgaz) üzerinde iyi bir sonuç vermemiştir. Fakat EP kriterine göre tasarlanan yapı %19,56 ile en yüksek iyileşme değerini vermiştir. Derslik için başlangıç tasarıma göre en iyi iyileşmeyi her iki yaşam dönemi için de %12,25 tüketim azalması ile GWP, AP ve EP kriterlerine göre yapılan yeni tasarımdan elde edilmiştir. Her iki yapıda karar destek sisteminden elde edilen yapıların çevresel etkisini en fazla iyileştiren tasarım sonuçları doğalgaz tüketiminde en yüksek iyileşmeyi sağlayamamıştır. Bunun sebebi ilgili hesap kriterini azaltmaya çalışırken yapının kabuğunu oluşturan malzemelerin ısı değerlerinin zayıflatılmasıdır. Yapının üretim döneminde sağlanan çevresel etkilerindeki iyileşme, kullanım dönemindeki doğalgaz tüketiminden kaynaklanan çevresel etkileri iyileştirmediği belirlenmiştir.
- Konut yapısında kullanılan malzemenin maliyet ve çevresel etki değerlerinin azaltılmasının yapı kabuğunun ısı yalıtımına olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Bunun sebebi yapının çevresel etkisini azaltmak için atanan yeni malzemelerin

ısı iletkenlik özelliklerinin değişmesidir. Örneğin Konut yapısında maliyeti azaltmak için ısı kontrol kaplamalı cam yerine kaplamasız camın tercih edilmesi ya da ODP kriterini azaltmak için gaz beton yerine kireç-kum taşı duvar bloğunun seçilmesi bu sonucu etkilemiştir. Benzer durumun Derslik yapısında ortaya çıkmamasının nedeni ise kriterleri en çok etkileyen değiştirilebilir 5 iş kalemini oluşturan malzemelerin çoğunlukla yapının kabuğunu oluşturan malzemelerden oluşmamasıdır.

- ***Yapının enerji tüketiminde etkili olan dış yüzeyini oluşturan yapı malzemelerinin değişiminin yapı malzemesinden ve ısıtma amaçlı doğalgaz tüketiminden kaynaklanan maliyet-karbon-enerji üzerindeki etkisinin araştırılması,***

- Yapının kabuk elemanlarında en ucuz ve düşük ısı yalıtım değerine sahip malzemeden başlayıp kademeli olarak maliyet ve ısı yalıtım değeri yükseltilerek kabuk alternatiflerinin maliyet, karbon ve enerji üzerindeki değişimi gözlemlenmiştir. Maliyet, karbon ve enerji kriterleri hesabında üretim, kurulum ve kullanım yaşam dönemlerindeki malzemeden ve kullanım yaşam dönemindeki doğalgazdan kaynaklanan etkiler bir arada değerlendirilmiştir. Yapılan yatırım alternatiflerinde yapının ısı kaybında yüksek oranda etkisi olan duvar ve çatı döşemesi yalıtımı elemanlarındaki iyileşmenin en yüksek net bugünkü değeri verdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte döşeme yalıtımının tek hacimli metot ile hesaplanan yapıda maliyet etkin olmadığı fakat çevresel etkileri iyileştirdiği belirlenmiştir.
- Net bugünkü değer hesaplamalarında negatif sonucun ortaya çıkması yapının kabuğunda iyileşmeler için yapılan harcamalardan zarar edildiğini göstermektedir. Derslik yapısının 18 alternatifinin her biri için hesaplanan net bugünkü değer birinci derece-gün bölgesinde 8 alternatif için negatif sonuç vermiştir. İkinci derece-gün bölgesinde 6, üçüncü derece-gün bölgesinde 5 ve dördüncü derece-gün bölgesinde 4 alternatif için negatif sonuç hesaplanmıştır. Konutun 19 alternatifi için net bugünkü değer birinci derece-gün bölgesinde 8, ikinci derece-gün bölgesinde 4, üçüncü derece-gün bölgesinde 4 ve dördüncü derece-gün bölgesinde 3 alternatif için negatif sonuç hesaplanmıştır. Negatif sonuçlar farklı derece-gün bölgelerinde aynı sayıda olsa da birinci bölgeden dördüncü bölgeye gidildikçe net bugünkü değeri azalmaktadır.

- Bütün derece-gün bölgeleri bir arada değerlendirildiğinde aynı alternatiften fayda elde edilen yatırım sayısı birinci bölgeden dördüncü bölgeye artış göstermiştir.
- Malzemeden kaynaklanan gömülü karbonun değeri bütün derece-gün bölgeleri için aynıdır. Fakat birinci bölgeden dördüncü bölgeye sırasıyla operasyonel karbon miktarı artış göstermektedir. Yapının her bir alternatifinde kabuğundaki iyileşmenin operasyonel karbonda azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra birinci bölgeden dördüncü bölgeye gidildikçe yapı kabuğundaki iyileşme çevresel etkiyi daha fazla azaltmıştır.

5. Çevresel etkilerin hesaplanmasına yönelik veri tabanı oluşturulması, veri kaynaklarının değişkenliğinin ve bu değişkenliğin sonuca etkisinin ölçülmesi,

- Her yapı malzemesi için birden fazla EPD belgesi derlenerek, EPD-EPD ve EPD-ICE verileri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Ulusal bir veri tabanı oluşumuna katkı sağlamasa da yapıların çevresel etki hesaplarında kullanılabilecek bir veri tabanı hazırlanarak, bu verilerin ICE verilerinden ve kendi aralarındaki sapmaları belirlenmiştir. Bu sayede araştırmacılar belirlenen çerçevede yapıların çevresel etkileri hakkında bilgi sahibi olabileceklerdir. Ayrıca verilerin farklılığının sebepleri de belirlenerek, yapı üreticilerini ve tasarımcılarının malzeme seçimine bir katkıda bulunabilecektir.
- Karşılaştırma için toplanan ek EPD'lerin herhangi bir kritere bağlı olmaksızın analize dahil edilerek EPD-ICE verileri arasındaki sapmanın dağılımı elde edilmiştir. Rastsal olarak ve özellikle farklı coğrafi kapsamlarda olmasına dikkat edilerek EPD belgeleri derlenmiştir. Her iki yapının sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, analizde EPD belgelerinin ortalama değerleri ile ICE veri tabanı karşılaştırıldığında, sapma miktarının EE için ortalama %12,2 ve EC için ortalama %32,8 olduğu belirlenmiştir. Bu durum EPD belgelerinden elde edilen ortalama değerler ile ICE değerlerinin karşılaştırma sonucu, rastgele EPD seçimi ile yapılacak yaşam döngüsü analizinin ICE verileri ile yapılacak yaşam döngüsü analizinden ortalama EE için %12,2 ve EC için %32,8 bir değişim ile sonuçlanacağını göstermektedir. Bunun yanı sıra tezde yaşam döngüsü analizinde kullanılan veriler ile ICE verileri karşılaştırıldığında EE %-11,5 ve EC %1,1 sapma miktarı belirlenmiştir.
- EPD belgeleri malzemelerin metraj değerleriyle eşleştirilerek, EPD belgelerindeki değişkenliğin yapının toplam gömülü karbon ve gömülü enerji

üzerindeki etkisi Monte Carlo Simülasyonu ile ölçülmüştür. Yapılan analiz, yapının EE ve EC sonuç ortalamalarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Farklı EPD'ler ile yapılan analiz sonuçlarının yaklaşık %10 varyasyon katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan iterasyon sayısının yeterli olduğunu belirlemek için uygunluk analizi yapılmıştır. Analiz sonucu, belirtilen çerçevede iterasyon sayısının değişkenliği ölçmede yeterli olduğunu göstermektedir.

7.2 Tartışma

Çevresel göstergelerin her biri için literatürde çalışma bulmak oldukça zordur. Bundan dolayı diğer göstergelere kıyasla daha fazla çalışmaya sahip olan karbon ve enerji göstergeleri bu çalışmada temel kıyaslama ölçütü alınmıştır. Literatürde çevresel etki göstergelerini araştıran çalışmalar farklı karbon ve enerji sonuçları sunmaktadır. Bu durumun veri kaynağı dışında birkaç sebebi vardır. Yapının gömülü çevresel etkilerini hesaplarken hangi mahallerin analize dahil edildiği sonucu etkilemektedir. Örneğin yapının temel inşaatını oluşturan iş kalemleri malzeme yoğun bir süreci barındırmaktadır. Bunun analize dahil edilmesi çevresel kriterin birim alana düşen miktarını arttırmaktadır. Ayrıca yapının kat yüksekliği ve sayısı da ortak mahallerin etki dağılımını önemli oranda değiştirmektedir. Örneğin, bir katlı yapının çatı inşaatını oluşturan iş kalemlerinin birim alana tahsisi ile on katlı bir yapının etkisi aynı olmayacaktır. Ayrıca çevresel peyzaj düzenlemelerinin etkisinin birim alana aktarımı da önemli bir durumdur. Literatürde yapıların çevresel etkileri hakkında yapılan araştırmaların her biri kullanılan veri tabanları, analizin yapıldığı yaşam dönemi gibi kendi özgün çerçeve sistemine sahip olabilmektedir. Bu yüzden literatür karşılaştırması yaparken bu kriterler göz önünde bulundurularak kıyaslama yapılması daha uygun bir karşılaştırma sağlayacaktır.

Derslik ve Konut için yapının kullanım yaşam döneminde yenilenen malzemelerin etkisinin dahil edildiği hesaplamalarda GWP, derslik için $521 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ ve konut için $271 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ olarak belirlenmiştir. Bu değerler yapı malzemelerinin kullanım ömrünün hesaplamalara dahil edilmediği 'üretim ve kurulum' yaşam döneminde derslik için $452 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ ve konut için $231 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ 'tir. Derslik için ODP kriteri yapı malzemelerin kullanım ömrü hesaplamalara dahil edilmediğinde $3,22\text{E-}05 \text{ kgCFC11 eş}/\text{m}^2$ ve dahil edildiğinde $4,09\text{E-}05 \text{ kgCFC11 eş}/\text{m}^2$ 'dir. Benzer sırayla AP değeri $1,88 \text{ mol H}^+ \text{ eş}/\text{m}^2$ ve $2,27 \text{ mol H}^+ \text{ eş}/\text{m}^2$ 'dir. EP değeri $0,107$ ve $0,130 \text{ kgP eş}/\text{m}^2$ 'dir. POCP değeri $0,673$ ve $0,859$

kgNMVOC eş/m²'dir. Konut yapısı için ODP kriteri yapı malzemelerin kullanım ömrü hesaplamalara dahil edilmediğinde 1,53E-05 kgCFC11 eş/m² ve dahil edildiğinde 2,03E-05 kgCFC11 eş/m²'dir. Benzer sırayla AP değeri 0,861 mol H⁺ eş/m² ve 1,06 mol H⁺ eş/m²'dir. EP değeri 0,046 ve 0,056 kgP eş/m²'dir. POCP değeri 0,293 ve 0,407 kgNMVOC eş/m²'dir. Sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde yapının kullanım döneminde çevresel etki ve maliyetinde yapı malzemelerinin tekrarlı kullanımı, hesap kriterlerinin birim alana etkisini %13-41 arasında değiştirdiğini göstermektedir. Bu da yapı malzemelerinin faydalı ömürlerinin gömülü hesap kriterleri için önemli olduğunu ve çevresel etkiyi azaltmak için yapıların ön tasarım ve tadilatlarında buna dikkat edilerek projelerin tasarlanması gerektiğini göstermektedir. Analiz sonuçları küresel literatürle karşılaştırıldığında yoğun olarak benzer aralıkta sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar AP, EP, ADPF için de benzerdir. Fakat diğer kriterlerin her biri için karşılaştırılabilir çoklukta kaynak bulmak oldukça zordur. Bundan dolayı diğer göstergelere kıyasla daha fazla çalışmaya sahip olan karbon ve enerji göstergeleri temel kıyaslama ölçütü kabul edildiğinde sonuçlar kabul edilebilir aralıktadır.

Bu çalışmada literatürde yeterli bilgi olmayan yapıların yaşam döngüsünün A5/kurulum ve B3-4-5/kullanım aşamaları hesaplanmıştır. A5 aşamasını hesaplamak için iş tarifleri kullanılmıştır. İş tariflerinde temel yapı malzemesini inşa etmek için gereken yardımcı malzemeler belirlenerek yaşam döngüsünün bu aşaması hesaplanmıştır. Analizlerde kullanılan EPD belgelerinden ve malzeme üreticilerinden elde edilen malzemelerin faydalı ömürleri dikkate alınarak, B3-4-5 yaşam dönemi için hesaplamalar yapılmıştır. Malzeme süreleri değişkenlik gösterse de çalışmada, malzemelere atanan faydalı ömür sürelerinin en yüksek olması hedeflenerek, B3-4-5 yaşam döneminin minimum etki yüzdesi araştırılmıştır (%13-41).

İki yapı arasında birim alana düşen maliyet ve çevresel etkiler dersliğe göre kıyaslandığında konutta daha azdır. Bu durum yapıyı oluşturan temel malzemelerden kaynaklanmaktadır. Derslik yapısında alüminyumdan imal edilen yapı malzemelerinin miktarı oldukça fazladır. Alüminyum kullanılarak imal edilen yapı malzemelerinin çevresel etkisi yüksek olduğundan derslik yapısının sonuçları yüksek çıkmıştır. Ayrıca döşeme kaplaması ve pencere tercihi de oldukça etkilidir. Örneğin Derslikte pencereler alüminyum doğramadan ve konutta PVC doğramadan olduğundan Derslik yapısını pencereler daha çok etkilemiştir. GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADPE, ADPF ve Maliyet kriterlerini en çok etkileyen iş kalemleri belirlenmiştir. Analiz edilen yapılar için beton, donatı, kalıp önemli etki yüzdesine sahiptir. İki yapı incelendiğinde etki yüzdesi belirgin olarak farklı olan asma

tavan iş kalemidir. Asma tavan iş kaleminin derslikte yüksek oranda kullanılması bu durumu açıklamaktadır. Değiştirilebilir iş kalemlerinden yapıyı en çok etkileyenlerin alüminyum doğrama, porselen karo, gazbeton, asma tavan, cam, boya iş kalemleri olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yenileme sayısı yüksek olan boya iş kalemi yapıların çevresel ve maliyet etkisini önemli miktarda etkilediği belirlenmiştir.

Yapıların ısıtma enerjisi analizi sonucu Derslik bloğunun ısıtma enerjisi ihtiyacı 1415,87 GJ/yıl ve Konutun ısıtma enerjisi ihtiyacı ise 587,3 GJ/yıl olarak hesaplanmıştır. İki yapının kabuk elemanları, kullanım amaçları ile değerlendirildiğinde yapılar arasındaki ısıtma enerjisi ihtiyacındaki değişim makul olmakla birlikte sonuçlar literatür ile örtüşmektedir.

Yapıların çevresel ve maliyet etkisini azaltılmak için iki farklı analiz yapılmıştır. Bunlardan ilki, çevresel performans göstergeleri ve maliyeti azaltmak için yapıda kullanılan yapı malzemelerine daha düşük hesap kriterlerine sahip alternatif malzemeler atamaktır. Bunun için çok kriterli bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemi uygulamak için değiştirilebilir iş kalemlerinin her birine alternatif iş kalemleri oluşturularak, bu kalemlerin maliyet ve çevresel kriterleri hesaplanmıştır. Derslik yapısında 18 iş kalemi için ve Konut yapısında 15 iş kalemi için alternatifler oluşturularak bunların maliyet ve çevresel etkileri hesaplanmıştır. Örneğin alüminyum plaktan asma tavan yapılması iş kalemi için alçı levhalar ile çift iskeletli askı sistemli asma tavan yapılması, deliksiz sıcak daldırma galvanize sac plakadan oturtmalı sistem asma tavan yapılması, arka yüzü akustik kumaş kaplı delikli galvanize sac plakadan sarkmalı sistem asma tavan yapılması, PVC'den yapılmış asma tavan karoları ile asma tavan yapılması alternatif olarak oluşturulmuştur. Porselen karo ile döşeme kaplaması yapılması için PVC esaslı yer döşeme kaplaması yapılması, seramik yer karoları ile döşeme kaplaması yapılması, terrazo karo ile iç mekân döşeme kaplaması yapılması, mermer levha ile döşeme kaplaması yapılması, traverten levha ile döşeme kaplaması yapılması alternatif olarak oluşturulmuştur. Alüminyum doğrama yapılması iş kalemine ahşap ve plastik doğrama yapılması iş kalemleri ve çatı arası döşemeye uygulanan poliüretan köpük yalıtım için taşıyıcı ve camyünü yalıtım plakaları hesaplanmıştır. Bunun dışında duvar türü, mantolama, su yalıtım, cephe kaplaması, boya, cam, kalıp, yer kaplaması gibi iş kalemlerine de alternatifler oluşturulmuştur. Bu sayede geliştirilen karar destek sistemi uygulanmıştır.

Önerilen karar destek sisteminin yapıları uygulanması ile yaşam döngüsü matrisleri oluşmaktadır. Derslik yapısının yaşam döngüsü matrisleri karşılaştırıldığında en iyi sonucu

yapının ‘A1-2-3-5’ yaşam dönemi için iş kalemlerinin faydalı ömrünün hesaplamalara dahil edildiği alternatifte göre yapılan analiz vermiştir. En iyi toplam etki miktarını %232,88 ile Maliyet kriterine göre yapılan analizin matrisi sunmaktadır. Konut yapısının yaşam döngüsü matrisleri karşılaştırıldığında en iyi sonuçları %137,86 toplam etki ile yapının her iki yaşam dönemine göre yapılan analizi vermektedir. Sonuçlar çevresel etkiyi ve maliyeti azaltmak için yapı malzemelerinin faydalı ömrünün dikkate alınarak tasarım yapılması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Yapılarda yeni tasarımların toplam iyileşme miktarlarının birbirlerine yakın olmasının sebebi, farklı yaşam dönemlerindeki değiştirilebilir iş kalemlerinin çoğunlukla benzer olmasından kaynaklanmaktadır. Değiştirilebilir iş kalemlerinin her bir hesap kriteri için etki yüzdesi değişse de türü değişmediğinden sonuçlar birbirine yakın çıkmaktadır. Bununla birlikte her bir kritere göre yapılan analizde iyileşmeler mevcuttur.

Literatürde ‘yapılarda iş kalemleri için tüm uygulanabilir seçeneklerin değerlendirilmesi mümkün olsaydı ve yapılar verimlilik açısından daha iyi optimize edilmiş olsaydı, bina tasarımlarında hem maliyet hem de gömülü karbon ne ölçüde azaltılabilirdi?’ şeklinde sorular vardır (Gauch vd., 2022). Bu çalışmada önerilen alternatifler kapsamında uygulanabilir farklı iş kalemlerinin optimizasyonu sonucu sadece maliyetin ve gömülü karbonun değil 8 hesap kriterinin de en yüksek iyileşme miktarları hesaplanmıştır. Derslik yapısı kriterlerinin en yüksek iyileşmeleri Maliyet için %14,24, GWP için %22,29, ODP için %32,50, AP için %30,81, EP için %34,33, POCP için %37,50, ADPE için %70,52 ve ADPF için %24,12 olarak belirlenmiştir. Konutta yapısı kriterlerinin en yüksek iyileşmeleri Maliyet için %5,2, GWP için %15,49, ODP için %25,69, AP için %20,51, EP için %23,87, POCP için %16,05, ADPE için %41,95 ve ADPF için %12,10 olarak belirlenmiştir.

Yapıların yaşam döneminde toplam en yüksek iyileşme oranını Derslik yapısı için Maliyet kriterine göre yapılan tasarım vermiştir. Konut yapısı için AP kriterine göre yapılan tasarım en iyi değeri sunmaktadır. GWP göstergesi literatürün genel olarak belirttiği önemli bir etkidir. Maliyet ve AP ise nispeten yeni kriterlerdir. Bugüne kadar yapılan etki analizleri enerji ve karbon odaklı olurken diğer çevresel kriterler yaygın olarak ihmal edilmiştir. Eğer çevresel etiler, küresel ölçekte çoğunlukla tercih edildiği üzere tek etki ölçütü olarak GWP üzerinden tanımlanırsa, diğer göstergeler için önemli etki yüzdelere sahip çevresel etkiler göz ardı edilecektir (Anand ve Amor, 2017). Derslik yapısı için en yüksek iyileşme Maliyet kriterine göre yapılan tasarım için bulunmuştur. Maliyet kriterinin en yüksek iyileşmeyi sağlama nedeni yapılarda kullanılan lüks ve fonksiyonel malzeme kullanımının azaltılmasıdır. Yeni tasarımda değiştirilen iş kalemleri; alüminyum doğrama yerine ahşap

doğrama, porselen karo yerine seramik karo, çinko çatı kaplaması yerine bitümle levha kaplaması, alüminyum asma tavan yerine PVC asma tavan, gaz beton yerine kireç-kum taşı atanmıştır. Atanan iş kalemleri hem maliyet kriterini hem de çevresel kriterleri azalmıştır. Bu çalışmanın çerçevesi dahilinde, yapıların çevresel etkilerinin ve maliyetinin iyileşmesinde ön tasarımda belirleyici olan kriterin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu iyileşme tek bir kritere göre yapılamamakla birlikte, yapıda kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler malzemenin yaşam döngüsü analizi sonuçlarını ve maliyetini etkileyen hammadde, yakıt, üretim süreci şeklinde örneklendirilebilir.

Derslik yapısının değiştirilebilir iş kalemlerinin etki yüzdesi konuttaki değiştirilebilir iş kalemlerinin etki yüzdesinden daha fazla olduğundan, derslik yapısındaki iyileşme oranları daha fazla olmuştur. Ayrıca bu çalışmada kullanılan örnek yapılarda en yüksek etki yüzdesine sahip değiştirilebilir ilk 5 iş kaleminden sonra etki oranı %5'in altına düşmektedir. Konut için değiştirilebilir 5 iş kaleminde en yüksek toplam iyileşme miktarı %137,86 değerine sahiptir. Değiştirilebilir iş kalemi sayısı 4 olduğunda Konut için iyileşme %122,25 ve 6 olduğunda %147,51 ile AP kriterinde hesaplanmıştır. Değiştirilebilir iş kaleminin ortalama 10 olması ile iyileşme %161,50 olarak AP kriterinde hesaplanmıştır. Derslik yapısı için değiştirilebilir iş kalemi sayısı 4 olduğunda en yüksek toplam iyileşme %218,76 ile Maliyet kriterinde ve sayı 5 olduğunda %232,88 ile Maliyet kriterinde elde edilmiştir. Değiştirilebilir iş kalemi sayısı 6 olduğunda en yüksek toplam iyileşme miktarı %244,24 ve sayı ortalama 10 olduğunda %274 hesaplanmıştır. Değiştirilebilir iş kalemi sayısındaki artışın Konut yapısı ile kıyaslandığında Derslik yapısının toplam iyileşme değerini artırmasının sebebi, yenileme/onarım gibi sebeplerle tekrarlı kullanımı olan yapı malzemeleri oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun dışında, yeniden tasarımda mimari kaygılarla tercih edilen lüks yapı malzemelerinin yerine çevresel kriterleri düşük malzemelerin tercih edilmesi de sonuçları etkilemiştir. Her iki yapıda yeniden tasarımda hesap kriterlerini en çok etkileyen iş kalemleri ve etki yüzdeleri farklı olduğundan, alternatif atanan iş kalemleri değişiklik göstermektedir. Derslik yapısında 8 kriterin her birini azaltmak için iş kalemlerine atanan malzemelerin çevresel kriterlerindeki birim azalma Konut yapısına atanan malzemelerden daha azdır. Bunun yanı sıra Derslik yapısında değiştirilen iş kalemlerinin hesap kriterlerini etkileme yüzdesi Konut yapısındaki iş kalemlerinden daha fazladır. Bundan dolayı Derslik yapısı Konut yapısına göre daha yüksek bir iyileşme sağlamıştır.

Toplam iyileşme yüzdesinde sırasıyla değiştirilebilir 4-5-6 iş kalemindeki değişim arasında her bir kriter için her zaman pozitif iyileşme sunmamaktadır. Örneğin, Konut yapısı ADPF kriterini azaltmak için yapılan tasarımda 5 iş kalemi revize edilmesi durumunda toplam iyileşme %72,34 ve 6 iş kalemi revize edilmesi durumunda iyileşme %69,25 oranına sahiptir. İki revizede de iyileşme vardır fakat bunların arasında %-3,09 oranında bir değişim gözlemlenmiştir. Analiz edilen her iki yapıda da hesap kriterlerinde en yüksek etkiye sahip değiştirilebilir ilk 5 iş kaleminden sonra diğer iş kalemlerinin etki yüzdesi %5'in altına düşmektedir. Bu durum daha iyi sonucu elde etme olasılığını azaltmasının yanı sıra hesaplanan kriter hariç diğer kriterlerde de bozulmalara yol açmaktadır. Bunun sebeplerinden biri 8 kriterden birini iyileştirmeyi amaçlarken diğer kriter değerlerinin değişmesidir. İkinci sebep, yapı malzemelerinin kullanım ömrüdür.

Hesap kriterlerinin her birini azaltmak için iş kalemlerine alternatifler oluşturularak ilgili kriter değeri en düşük malzeme seçilmesiyle çevresel etkisi iyileştirilmiş yeni yapı tasarımı elde edilir. Belirlenen 1 hesap kriteri azaltılırken diğer 7 kriter de değişmektedir. Hesap kriterini azaltan yeni yapı tasarımının 8 kriteri de hesaplanarak iyileşme yüzdeleri toplanır. Karar destek sistemindeki her bir kriter için elde edilen bu toplam değer, yapının iyileşmesi üzerindeki etkisini vermektedir. Toplam iyileşme miktarı, iş kaleminin hesap kriterindeki metraj miktarına bağlıdır. Bunun dışında iş kalemi ile alternatif olarak seçilen iş kaleminin 8 hesap kriterinde birim değerler arasındaki farkın büyüklüğüne ve alternatif malzemelerin tekrarlı kullanım sürelerine bağlıdır. İş kaleminin çevresel kriterlerindeki birim azalma, tekrarlı kullanım miktarının etkisiyle olumsuz bir sonuca dönüşebilmektedir. Bundan dolayı yapı malzemelerinin faydalı ömürlerine daha doğru bir yaşam döngüsü analizi için hesaplamalarda dikkat edilmesi gerekir.

Konut yapısının çevresel göstergelere ve maliyete göre yeniden tasarlanmasıyla yapının işletme dönemindeki doğalgaz tüketimi üzerindeki etkisi hesaplanmıştır. Sonuçlar, Konut yapısında malzeme için en iyi iyileşme yüzdesini veren AP kriterinin %-93,79 iyileşme değeri ile doğalgazda iyi bir sonuç vermemiştir. Fakat EP kriterine göre tasarlanan yapı %19,56 ile en yüksek iyileşme değerini vermiştir. AP kriterini azaltmak için tasarlanan yapıda değişen iş kalemleri; gaz beton yerine kireç-kum taşı blok, yapının cephesinde kullanılan alüminyum doğrama yerine plastik doğrama, pençelerde plastik doğrama yerine ahşap doğrama iş kalemleridir. Yapıda en çok ısı kayıp oranına sahip olan dış duvar malzemesinin bu durumda ısıl iletkenlik değeri ortalama 0,25 W/mK gaz betonun, bu değerden daha kötü ısı iletkenlik değerine sahip olan kireç-kum taşı blok (2,3 W/mK) ile yer

değiştirmesi doğalgaz iyileşme sonuçlarını önemli ölçüde etkilemiştir. En iyi doğalgaz iyileşme değerini veren EP kriterinin AP kriteri tasarımından tek farkı gaz beton yerine EPS katkılı yalıtım bloğu kullanılmasıdır. Konut yapısının A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi için de sonuçlar benzer şekildedir.

Derslik için başlangıç tasarımı göre en yüksek iyileşmeyi her iki yaşam dönemi için de %12,25 tüketim azalması ile GWP, AP ve EP kriterlerine göre yapılan yeni tasarımlardan elde edilmiştir. En az doğalgaz tüketimini veren kriterlerin hepsinde tasarım benzerdir; gazbeton yerine EPS katkılı blok, alüminyum doğrama yerine ahşap doğrama ve porselen yer karosu yerine PVC esaslı döşeme kaplaması ikame olarak gelmektedir.

Konut yapısı ile kıyaslandığında Derslik yapısında doğalgazdaki iyileşme oranı daha azdır. Konutta en iyileşme oranı %19,56 ve Derslikte %12,25 değerine sahiptir. Fakat Derslik yapısında kriterlerin çoğunda az miktarda da olsa iyileşme gözlemlenirken, Konut yapısında negatif değişim daha fazladır. Negatif değişimin sebebi hesap kriterinin etkisini azaltmak için iş kalemlerine atanan alternatiflerin yapının kabuğunu oluşturan malzemelerin ısıl değerlerini zayıflatılmasıdır. Örneğin Konut yapısında maliyeti azaltmak için ısı kontrol kaplamalı cam yerine kaplamasız camın tercih edilmesi ya da ODP kriterini azaltmak için gaz beton yerine kireç-kum taşı duvar bloğunun seçilmesi bu sonucu etkilemiştir. Derslik ile Konut yapısındaki negatif değişim sayılarının farklı olmasının nedeni her iki yapıda hesap kriterlerini azaltmak için değiştirilen iş kalemlerinin, yapının kabuğunu oluşturan malzemelerden oluşması durumunun farklı olmasıdır.

Yapıların evresel ve mali etkisini azaltmak için yapılan ikinci analiz, yapının enerji tüketiminde etkili olan kabuğunu oluşturan yapı malzemelerinin değişiminin yapı malzemesinden ve doğalgazdan kaynaklanan maliyet-karbon-enerji üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Yapının kabuk elemanlarında kötüden iyiye bir iyileşme sağlanması ile kabuk alternatiflerinin maliyet, karbon ve enerji üzerindeki değişimi gözlemlenmiştir. Yapıların ısı kaybında ortalama genel kabul çatı için %20-25, duvarlar için %25-40, pencereler için %10-20, zemin için %5-15 değer aralıklarına sahiptir. Yapılan yatırım alternatiflerinde yapının ısı kaybında yüksek oranda etkisi olan duvar ve çatı döşemesi yalıtım elemanlarındaki iyileşmenin en yüksek net bugünkü değerini verdiği belirlenmiştir.

Derslik için hesaplanan net bugünkü değer maliyeti birinci derece-gün bölgesinde 8 alternatif için negatif sonuç vermiştir. İkinci derece-gün bölgesinde 6, üçüncü derece-gün bölgesinde 5 ve dördüncü derece-gün bölgesinde 4 alternatif için negatif sonuç

hesaplanmıştır. Bu değerler Konut için sırayla 8, 4, 4 ve 3 adet negatif sonucu vermektedir. Negatif sonuçların ikinci ve üçüncü derece-gün bölgelerinde aynı sayıda olsa da üçüncü bölgede zararın büyüklüğü azalmaktadır. Bütün derece-gün bölgeleri bir arada değerlendirildiğinde pozitif NBD'ye sahip alternatif sayısı birinci bölgeden dördüncü bölgeye artış göstermiştir. Örneğin, duvar türünün 19 cm Bims bloktan 20 cm gaz betona değiştirilerek yeni bir alternatif elde edilmiştir. Bu iki alternatif arasındaki NBD birinci derece-gün bölge için -1741,6 \$, ikinci bölgede 3290,8 \$, üçüncü bölgede 9952,5 \$ ve dördüncü bölgede 11447,8 \$ değerleri elde edilmiştir.

Birinci bölgeden dördüncü bölgeye sırasıyla operasyonel karbon miktarı artış göstermektedir. Yapının her bir alternatifinde kabuğundaki iyileşmenin operasyonel karbondaki azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra birinci bölgeden dördüncü bölgeye gidildikçe gömülü karbondaki bir birim artış operasyonel karbonu daha da fazla azaltmaktadır.

Çalışmada yapıların yaşam döngüsü analizi için geliştirilen uygulama ile analizler yapılmıştır. Geliştirilen yazılım önerilen algoritmanın akış şeması ile uyum içinde çalışmakta ve yapıların çevresel etkilerini ölçmek için kolaylık sunmaktadır. Bu sayede sadece yapı malzemelerinin değil yapının da çevresel etkileri ve maliyeti analiz edilerek belirlenebilecektir.

Bu bağlamda çalışmanın çıktı değerleri hem kendi içinde hem de uluslararası literatür ile kıyaslandığında sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Bu tezin katkılarından biri, doğru kıyaslamayı tanımlamak ve bu hesaplamalarda kullanılan veri yapıları için bu eleştiriyi yapmaktır. Bunun yanı sıra yapı malzemelerine daha düşük çevresel gösterge değerlerine sahip alternatiflerin atanmasıyla elde edilecek iyileşme hakkında bilgi vermektir. Bu analiz yapılırken sadece karbon ve enerji değil diğer çevresel göstergelerde dikkate alınmıştır. Bu çalışma bütünsel, temel ve şeffaf bir yöntemin temelini oluşturmaktadır. Bu tez Türkiye'deki yapıların çevresel etkilerinin değerlendirilmesine ve azaltılmasına yönelik deneme çalışmalarından biridir. Aynı zamanda sürdürülebilir tasarım geliştiricileri ve bu alanda politika yapıcılara da kaynak niteliğindedir. Yapıların çevresel etkilerini azaltma stratejileri aşağıda sıralanmıştır:

- Tüm yapının çevresel etkisinde yüksek payı olan yapı malzemelerine daha düşük çevresel değerlere sahip alternatifler atamak,

- Yapının yaşam dönemlerini, yapı malzemelerinin tekrarlı kullanımlarını, kullanım dönemindeki çevresel ve maliyet değişiminin yatırım değerlendirmesini yaparak yapı tasarımı oluşturmak,
- Düşük çevresel etkilere sahip malzemelerin üretim ve kullanımının desteklenmesi/teşviklenmesi,
- Çevresel etkileri hesaplarken kullanılan kaynak ve sınırların açık ve net veriler ile ortaya konulması.

Bu değerlendirmenin yanı sıra yapılacak diğer tartışma veri kaynaklarıdır. Kullanılan veriler için analizler yapılmıştır. Bu analizde EPD belgeleri ile ICE veri tabanındaki değerler karbon ve enerji kriterlerine göre kıyaslanarak varyasyon katsayısı başka bir ifadeyle sapma miktarı tespit edilmiştir. Sapma hesabı hem tezde yaşam döngüsü analizinde kullanılan EPD belgeleriyle ICE verileri arasında hem de aynı malzeme için birden çok derlenen EPD belgelerinin ortalaması ile ICE veri tabanının karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Her bir malzeme için birden fazla EPD belgesi toplanırken herhangi bir kısıt kullanılmamıştır. Rastasal olarak ve özellikle farklı coğrafi kapsamlarda olmasına dikkat edilerek EPD belgeleri derlenmiştir. Her iki yapının sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, analizde EPD belgelerinin ortalama değerleri ile ICE veri tabanı karşılaştırıldığında, sapma miktarının EE için ortalama %12,2 ve EC için ortalama %32,8 olduğu belirlenmiştir. Bu durum EPD belgelerinden elde edilen ortalama değerler ile ICE değerlerinin karşılaştırma sonucu, rastgele EPD seçimi ile yapılacak yaşam döngüsü analizinin ICE verileri ile yapılacak yaşam döngüsü analizinden ortalama EE için %12,2 ve EC için %32,8 bir değişim ile sonuçlanacağını göstermektedir. Analiz sonuçları ICE verileri ile kıyaslama yapıldığında malzemelerin EE-EC değerleri arasında belirgin ölçüde değişimin olabileceğini göstermektedir. Tezde analizlerde kullanılan EPD belgeleri temel alınarak yapılan hesaplama sonuçlarında sapma miktarı ortalama değerler ile elde edilen sapma miktarından daha düşüktür. Tez kapsamında yapıların analizlerinde kullanılan EPD belgeleri ICE veri tabanına yakın değerler olmasına özen gösterilerek derlenmiştir. Analizlerde kullanılan EPD belgelerinin ICE'den sapmasının ise EE %-11,5 ve EC %1,1 olduğu belirlenmiştir. Belirtilen değer kaynak, yöntem, kısıt ve sürecinin net olarak belirtildiği veriler kullanılarak birbirine yakın yaşam döngüsü sonuçları elde edilen analizlerin olduğunu göstermektedir.

Veriler ile ilgili yapılan diğer analiz ise her bir yapı malzemesi için derlenen EPD belgelerinin kendi içindeki kıyaslamasıdır. EPD belgelerinden elde edilen karbon ve enerji değerleri malzemelerin metraj değerleriyle eşleştirilerek, değişkenliğin yapının toplam gömülü

karbon ve gömülü enerji üzerindeki etkisi Monte Carlo Simülasyonu ile farklı deneme miktarlarında ölçülmüştür. Yapılan analiz, yapının EE ve EC sonuç ortalamalarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Farklı EPD'ler ile yapılan analizlerin yaklaşık %10 saptığı belirlenmiştir. Yapılan iterasyon sayısının yeterli olduğunu belirlemek için uygunluk analizi yapılmıştır. Analiz sonucu, belirtilen çerçevede 50.000 iterasyon sayısının değişkenliği ölçmede yeterli olduğunu göstermektedir.

Hem ICE hem de EPD verileri yaşam döngüsü analizi ile elde edilen değerleri temsil etmektedir. Bu analizin süreci ve yöntemi standartlarda belirtilmiştir. EPD verileri, bir malzeme için birden çok sayıda elde edilebilirken ICE verileri EPD gibi belgelerin belirli kriterlere göre derlenmesiyle hazırlanmaktadır. YDA, her iki veri kaynağının temelini oluşturmaktadır. Bir yapı malzemesi için oluşturulan EPD belgesi, tek bir veri değerini temsil etmektedir. Bu malzeme için kabul edilen kısıtlar veri sonucunu etkilemektedir. ICE veri tabanı ise bir malzeme için birden fazla belgenin belirtilen kriterlere olabildiğince uygun değerler seçilmesinin amaçlanması ile oluşmuştur. Fakat, uygun olmayan bir kriterin varlığında elde edilen veri kabul edilir. Örneğin ICE'de veri kaynağı olarak Birleşik Krallık bir kısıt olarak seçilmiş fakat yetersiz veriden dolayı farklı coğrafi bölgelerdeki çalışmalar kullanılmıştır.

YDA hesaplama süreci enerji korunum yasalarını temel alır yani enerji kaybolmaz fakat dönüşür. YDA'da hesaplar temel hatlarıyla sistemdeki girdi ve çıktıların analizini ifade etmektedir. YDA'da verinin değerini belirlemeye etki eden kriterlerden biri hammadde temin biçimidir. Başka bir ifadeyle malzemenin üretiminde kullanılan ana malzemelerin içerisinde geri dönüştürülmüş ikincil kaynak kullanımının olması durumudur. Bir diğer kriter, hammadde kaynağından üretim tesisine kadar taşıma sırasında kullanılan yakıt miktarı ve türüdür. Bu doğrudan fosil kaynak kullanımı ile ilgili olduğundan veri sonuçlarını oldukça etkilemektedir. Sürece etkiyen bir diğer faktör ise veri girdi işleminin doğru yapılmasıdır. Çevresel etki değerleri doğru hesaplanırsa da küresel ısınma, asitleşme, ozon oluşumu gibi birçok çevresel gösterge bulunmaktadır. Hesaplanan verilerin doğru göstergeye atanması gerekmektedir. Mevcut EPD belgelerinde hatalı veri girişlerinin olduğu görülmektedir (Url-6).

EPD ve ICE verileri karşılaştırıldığında her veri için yakın değerlerin olmadığı açıktır. Yukarıda bahsedilenlerin yanı sıra malzemenin ham, işlenmiş ya da birleştirilmiş olma gibi durumları da karşılaştırmayı etkilemektedir. Örneğin alüminyum levhanın delikli, şeritli ya da girintili olması üretim bandında daha fazla işçilik ve enerjiyi temsil etmektedir.

Farklılığa bir diğer örnek üretim şeklidir. Hem ICE hem de EPD verileri alüminyum profilleri üretim şekline göre sınıflandırmamaktadır. Boyalı, ekstrüde, haddelenmiş gibi daha genel sınıflandırmalar kullanılmaktadır. Ayrıca ICE 'de genellikle ham, %33 geri dönüştürülmüş ve %100'e yakın geri dönüştürülmüş malzemelerin verileri sunulmaktadır. Bu geri dönüşüm oranı değerleri ile benzer olmayan EPD verilerinin aynı olması muhtemel değildir. Agregas, temel yapı malzemelerinden biridir. Yapay agregaların üretimi ana hatlarıyla benzerdir fakat boyutlarındaki farklılıklar üretim girdilerini ve çıktıları değiştirir. Bu da gömülü enerji ve karbon miktarını değiştirmektedir. ICE veri tabanı her ne kadar ortalama bir değer sunsa da agregas gibi yapı malzemelerini gömülü karbon ve enerji açısından genellemek çok zordur. Agreganın boyutu, kayaç tipi gibi faktörlere bağlı sonuçlar değişkenlik gösterir. Bundan dolayı EPD belgeleri ile aralarında belirgin farklar gözlemlenebilir.

Analizlerde her bir yapı malzemesine atanan EPD belgesi sayısı farklılık göstermektedir. Bu durumun en önemli sebepleri aynı yapı malzemesi için temin edilen EPD belgelerinin farklı bölgelerden olması ve/veya farklı imalat yönteminin ve/veya enerji kaynağının kullanılmış olmasıdır. EPD verilerinin ICE ile kıyaslanması için EE-EC değerleri kg birimine göre hesaplanır. Malzemeleri EPD belgesinde temsil eden birimler farklılık göstermektedir. Örneğin boya kg, duvar m², beton m³ birimleri ile ifade edilir. ICE veri tabanında bulunan malzemeler kg birimi ile referans edilmektedir. Bu dönüşümden kaynaklanabilecek hatalarda veriler için önemli bir sorundur. Örneğin 1 m³ betonun ağırlığı betonu oluşturan malzemelerin sınıflarına göre farklılık göstermektedir.

Bir malzeme için EPD belgesi elde edilirken, malzemenin birim referans değeri de sonuçları etkilemektedir. Örneğin bir doğrama fabrikasından pencere doğraması için EPD belgesi hazırlanma sürecinde EPD belgesinin sistemi ölçen referans biriminin ne olduğu önemlidir. 1 kg doğrama ürünü mü yoksa 1 tane doğrama veya 1 m² doğrama mı sistemin ölçütü olarak kabul edileceği sonuçlar üzerinde belirgin farklar gösterebilir.

EPD belgesi, bir marka ya da bir ürün birliği kuruluşu tarafından bir ürün için çıkartılabilir. Belgeler veri tabanlarında marka ismiyle bulunmaktadır. Bu da kıyaslama yapmak için bir malzemeye birden fazla EPD belgesi bulmayı oldukça zorlaştırmaktadır. Ayrıca malzemelerin ortalama bir çevresel etki göstergesinin belirlenmesi uzun zaman alan kayıtlı tekrarlar ile mümkündür.

EPD ve ICE veri kaynaklarının temelini yaşam döngüsü analizi oluşturmaktadır. Bu analizi yapan farklı paket programlar vardır. Bu programlar farklı ülkeler için hazırlanmıştır. Aslında temsil ettiği ülkenin birim işlemlerine özgü sonuçları sunmaktadır. Bu sebeple

yaşam döngüsü analizinin yapıldığı bölge için hazırlanmamış veriler kullanılarak yapılan hesaplamalar, çevresel göstergelerin sonucunu etkilemektedir. Programlarda kullanılan karakterizasyon faktörü, yaşam döngüsü etki değerlendirme modeli ve metodolojisi, veri tabanı türü yaşam döngüsü analizinin sonucunu doğrudan etkilemektedir.

Ek olarak yapıların yaşam döngüsü hesaplanırken birim çevresel kriter değerleri metraj değerleri ile eşleştirilmektedir. Bu yüzden yapıların doğru metrajının hesap sonuçları üzerinde önemli bir etkisi vardır. Literatür, kullanılan metraj programlarının hatalı hesaplamalar verdiğini belirtmektedir (Ergen ve Bettemir, 2023). Bu yüzden bir metraj programından alınan bilgilerle yapılan hesaplama sonuçlarında bu kriter önemli bir yer tutmaktadır.

EPD ve ICE verileri karşılaştırıldığında farklılıkların gözlemlenmesinin temel sebepleri açıklanmıştır. Bu farklılıklar oluşsa da yapıların çevresel etkilerini belirlemek için bir veri kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada yapılması gereken, standartlara uygun olarak hazırlanan verilerin kullanımında çalışmanın sınırları, kabulleri, hammadde özellikleri, kaynağı gibi tüm kriterleriyle açık bir şekilde belirtilmesidir. Bunun dışından hem ulusal hem de uluslararası ortak ve detaylı bir veri tabanına ihtiyaç vardır. Yaşam döngüsü analizi yapılmış malzemelerin; hammadde türü ve miktarı, kullanılan yazılım, malzemelerin detaylı fiziksel özellikleri, malzeme üretim sürecinin detayları gibi kriterlerin hepsinin bir veri tabanında bir araya getirilmesi değerlendirmelere yardım edecektir. Bu özellikler EPD belgelerinde mevcut olsa da veri tabanlarında filtreleme uygulayarak erişilebilir olması analizleri daha verimli duruma getirecektir. Bu şekilde EPD belgeleri de yapıların çevresel performans göstergelerini hesaplamada kullanılabilecektir. Bu durum araştırmacıların karşılaştırma yapmasına ve veriler arasında ilişki kurabilmesine yardımcı olacaktır.

7.3 Nihai Görüş

Günümüzde iklim değişikliği konusu her alanda büyük önem kazanmıştır. Küresel bir afet olan iklim değişikliği, Türkiye’yi ve özellikle Türkiye’deki ticari aktörleri yakından ilgilendirmektedir. Sektör ne olursa olsun, çevreci yaklaşımlar rekabet için bir araç haline gelmiş durumdadır. Şirketler sürdürülebilir itibarı elde ederek hem marka imajlarını artırmakta hem de gelecekte zorunla olma ihtimali olan değişimlere hazırlanmaktadır.

Uluslararası belgeler ve uygulamalar son dönemlerde nicel adımlarla harekete geçmiş durumdadır. Buna AB Yeşil Anlaşması örnek verilebilir. Bu antlaşma ile Avrupa kıtasının 2050 yılına kadar sıfır karbon emisyonlu dünyanın ilk karbon nötr kıtası haline

getirilmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte sadece belirlenen bölgeler değil, ticaret yapılan ülkeler için de emisyonların azaltılması ya da ticarete konu ürünler için EPD belgeleri şartları gibi belirli çevreci yaptırımlar istenerek çevresel iyileşme etkisinin küreselleştirmesi hedeflenmektedir. Ülkemiz Paris İklim Antlaşması'nı 2021 yılında onaylayarak COP26 zirvesinde bu geçiş dönemindeki gelişmeleri sunacaktır. Bu süreçte beklenti her sektörün ya da kuruluşun ya da üretici firmaların kendi ürün/hizmet sektörünün çevresel etkilerini nasıl ölçeceği ve azaltacağı yönünde eylem planlarını hazırlamasıdır.

Çevresel planlamalar her sektör için yeni bir eşiği oluşturmaktadır. Yeni bir üretim süreci, hammadde kaynaklarındaki değişim buna örnek verilebilir. Bu durum bir şirketin sürdürülebilirlikle ilgili yatırım kararları ile doğrudan bağlantı oluşturmaktadır. Çevresel etkileri azaltmak için şirketlerin yaptığı yatırımların ticari hayatta sağladığı fayda ile yatırımın dönüş süreci ve bu yatırımın marka etkisi üzerindeki değeri ve malzemenin tercih edilebilirliğinin artması gibi konularda riskler barındırmaktadır. Çevresel etkileri azaltmak için şirketlerin süreci nasıl iyileştireceği önemli bir soruyu oluşturmaktadır. Sonuç olarak bütün bu ihtimalleri değerlendirmek ve doğru kararı verebilmek için iş sürecinin üzerinde detaylı izlemeler yapılmalıdır. Sürecin hangi bölümünün çevreye daha fazla zarar verdiği konusu ilgili sürecin yenilenmesinin yatırım maliyetiyle birlikte değerlendirilmelidir. Bu durum inşaat sektörü için ele alınırsa birden çok soru örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Malzeme üretimine örnek olarak 'çimentonun çevresel etkilerini en çok artıran, üretimin hangi süreci ve hangi bileşenidir?', 'bu sürecin ya da bileşenin yüksek etkisi nasıl azaltılabilir?'. Yapı üretimine örnek olarak 'yapı üretiminde kullanılacak malzemelerden hangisinin çevresel etkisi daha düşük?', 'yapının yaşam döngüsü boyunca çevreye en zarar vermek için nasıl bir tasarım yapılmalı?'. Bu yanıtlanması gereken çok sayıda sorudan sadece birkaçıdır. Bu çalışma kapsamında bu sorulardan birkaçı için yanıt aranmıştır. Yapıların çevresel etkisini en çok etkileyen iş kalemlerinin belirlenmesi, bu iş kalemleri için alternatiflerin önerilmesi, alternatifler için iyileşmelerin hesaplanması hem maliyet hem de çevresel kriterler açısından araştırılmıştır. Ek olarak yapı kabuğu temelli bir iyileşme için yapılan yatırımların farklı derece-gün bölgeleri için analizi yapılarak sonuçlar karbon, enerji ve maliyet açısından değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak tüm bu sürecin yapılabilmesi için sektörlerin mevcut durumunun izlenmesi ve sürdürülebilirlik için neler yapılacağı riskler ile birlikte belirli göstergeler üzerinden değerlendirmeler yapılarak belirlenmelidir. Bu uyum ve geçiş sürecini kolaylaştırmak için bu çalışmaların akademik çalışmalar ile bütünleştirilerek bir arada

yürütülmesi gerekmektedir. Ülkemiz yeşil dönüşüme bir geç kalmışlık ile ayak uydurmaya çalışmaktadır. Bu sürecin temellerinin sağlam olması için uygulayıcıların akademi ile birlikte yol alması önemli bir gereklilik haline gelmektedir.

Geçiş dönemi sonunda ülkemizin de dahil olacağı karbon ticaret sisteminde sektörlerin zarara uğramamaları için yapıların erken tasarım aşamalarında belirli ilkelere göre tasarlanması gerekmektedir. Yaşam döngüsü hesaplama uzmanları ile yapının mimari tasarımlarına göre yapının belirlenen kullanım ömrü boyunca çevresel etkileri değerlendirilerek en iyi modelin uygulanması bu ilkelere biridir. Yeniden yapım yerine mevcut olanı değerlendirme ya da çevresel etkisi daha düşük malzemeler ile tasarımın oluşturulması da bu ilkelere örnektir. İnşaat çok aktörlü, çok fazla malzemenin ve enerjinin kullanıldığı bir sektördür. Bundan dolayı bu sektörde yapılacak iyileşmeler birçok alt sektörü de olumlu etkileyecektir. Bunun dışında değinilmesi gereken bir diğer konu ise küresel karbon piyasasıdır. Bu amaçla devam eden projeler vardır. Amaçları ülkemizdeki bankaların ulusal ve uluslararası karbon piyasalarına katılımını geliştirmek ve süreci desteklemeyi amaçlayan programlar bulunmaktadır (MidSEFF Karbon Piyasasını Geliştirme Destek Programı).

Bütün bu sürecin amaç, kapsam, hedef ve sınırlarının belirlenerek geçilmesi için ülkemizin yasal bir yönetmeliği ihtiyacı vardır. Bu yönetmelikler hazırlanırken uygulayıcıların, yönetmelik yapımcıların akademi ile birlikte yol almaları gerekmektedir. Süreci tüm yönleriyle değerlendirebilmek için bir ürün ya da süreç ile ilgili olan her alandan temsilcilerin görüşü yönetmeliklerin herkes tarafından uygulanmasını kolaylaştırıcı nitelikte olacaktır.

7.4 Gelecekteki Çalışmalar

Bu çalışmanın temel amaçlarından biri, çevresel ve mali etkilerin azaltımını değerlendirmek için gerçek projeler üzerinden akademik araştırmalar yapmaktır. Bunun bir sonucu olarak bu alanı geliştirmek adına gelecekte yapılması gereken adımlardan ve çalışmalardan bazıları şu şekildedir:

- Ülkemizin küresel çalışmalar içindeki yeri belirlenerek eylem planı hazırlamak,
- Uygun bir değerlendirme yöntemi için sanayi, akademi ve yasal tarafların bir arada çalışmasını sağlamak,

- Yaşam döngüsü analizini yapmak için ülkemize özgü bir uygulama, yöntem, veri tabanı, karakterizasyon faktörü, yaşam döngüsü hesap metodunun geliştirilmesi,
- Çevresel kriterlerin ağırlıklandırılması üzerine yapılan araştırmaların geliştirilmesi ve ağırlıklandırma katsayılarının güncellenmesi,
- Yapının çevresel etkilerini azaltmak için ön tasarım aşamasında yapının inşa edildiği arazinin kullanım türüne (sucul arazi, tarım arazisi...) göre tasarım yapmanın yapının çevresel etkisini nasıl etkilediğinin araştırılması,
- Düşük enerjili ya da net sıfır enerjili binalar mevcut yapı stokunun çok az bir kısmını oluşturmaktadır. Mevcutta olan yapının çevresel performansını azaltmak mı yoksa bir yapıyı yeniden oluşturmak mı çevresel açıdan daha etkin olduğunun araştırılması,
- Beton, agrega gibi yapı malzemelerinin üretim tesisleri hammaddenin ulaşılabilirliğinden dolayı neredeyse her kentte var. Fakat cam, karo, doğrama gibi yapı malzemeleri için bu geçerli değildir. Bu durum birçok yerleşim için benzerdir. Bir yapının üretiminde yakın mesafeden temin edilen malzemeler ile uzak mesafeden temin edilen malzemelerin etkisini çevresel açıdan değerlendirilmesi,
- Kullanım ömrünü tamamlayan yapıların yıkımından sonra oluşan atık malzemelerin yeniden kullanımının yaşam döngüsü analizinin yapılması,
- Beton ve donatı için ikame olabilecek atık katkılı betonlar ve elyaf takviyeli donatının, yaşam döngüsü-maliyet-dayanım kriterlerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği bir araştırmanın yapılması,
- Yapıların kat sayısının ve yüksekliğinin çevresel etki analizinin birim alan sonuçlarını ne kadar etkilediğinin araştırılması,
- İnşaatta kullanılan yapı malzemelerinin hammaddelerinde ikincil kaynak kullanımının artmasının insan sağlığı üzerindeki etkisi nedir? Özellikle havaya yayılım yoluyla etki gösteren çevresel kriterler üzerindeki etkisinin araştırılması,
- Güvenilir veri tabanı hem ulusal hem uluslararası ölçekte nasıl elde edilebilir?
- Analizler için üretilen ağırlıklandırma katsayıları zamanla değişen üretim türü, enerji, kaynak değişiminden nasıl etkilenir?

- Ülkemiz çevresel etkileri daha da özelde karbonu azaltma hedefleri belirlerken öncelik olarak hangi sektörleri ele alıyor? Bu sıralamada inşaat sektörünün yeri nedir?
- Benzer malzemeler için sunulan çevresel etkilerin sonuçlarındaki büyük farklılıkların sebepleri yöntem ve kullanılan yazılımlardan kaynaklanabilir mi?

İnşaat sektörü çok paydaşlı yapısından dolayı bu araştırma konusu birçok soruyu farklı disiplinler için tetiklemektedir. Daha detaylı soruları ele alacak olursak armatür türlerinin su tüketimi üzerindeki etkisinin üretim maliyeti ile olan ilişkisi gibi örnekler ortaya çıkmaktadır. Bütün bu sorular inşaat sektörünün çevresel etkiyi azaltmak açısından önemli bir alan olduğunu göstermektedir. Bundan dolayı çevreyle ilgili yapılan araştırmalara ve iyileştirmelere sektörün önemli bir etkisi olacaktır.

KAYNAKLAR

- Adalberth, K.** (1997a). Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples. *Building and environment*, 32 (4), 321-329.
- Adalberth, K.** (1997b). Energy use during the life cycle of buildings: a method. *Building and Environment*, 32 (4), 317-320.
- Adalberth, K., Almgren, A., & Petersen, E. H.** (2001). Life cycle assessment of four multi-family buildings. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, 2.
- Acquaye, A. A., & Duffy, A. P.** (2010). Input–output analysis of Irish construction sector greenhouse gas emissions. *Building and Environment*, 45(3), 784-791.
- Anand, C. K., & Amor, B.** (2017). Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 67, 408-416.
- Akkose, G., Akgul, C. M., & Dino, I. G.** (2021). Educational building retrofit under climate change and urban heat island effect. *Journal of Building Engineering*, 40, 102294.
- Akköse, G., Duran, A., Gürsel Dino, İ. & Meral Akgül, Ç.** (2023). Makina öğrenmesi ile pencere parametrelerinin bina performansına etkisinin iklim değişikliği gözetilerek incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38 (4), 2069-2084.
- Almeida, R., Chaves, L., Silva, M., Carvalho, M., & Caldas, L.** (2023). Integration between BIM and EPDs: Evaluation of the main difficulties and proposal of a framework based ON ISO 19650: 2018. *Journal of Building Engineering*, 106091.
- Altun, M., Akgül, Ç. M., & Akçamete, A.** (2020). Kabuk yalıtımının bina ısıtma enerjisi ihtiyacına, maliyetine ve karbon ayak izine etkisinin yaşam döngüsü bakış açısıyla değerlendirmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 35 (1).
- Asif, M., Muneer, T., & Kelley, R.** (2007). Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and environment*, 42(3), 1391-1394.
- Aytaç, A., Aksoy, U.T.** (2006) Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4).
- Azapagic, A., Emsley, A., & Hamerton, I.** (2003). *Polymers: the environment and sustainable development*. John Wiley and Sons.
- Azapagic, A.** (2010). Life cycle assessment as a tool for sustainable management of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 30, 140.

- Azzouz, A., Borchers, M., Moreira, J., & Mavrogianni, A.** (2017). Life cycle assessment of energy conservation measures during early stage office building design: A case study in London, UK. *Energy and Buildings*, 139, 547-568.
- Bauen, R., Baker, B., & Johnson, K.** (1996). Sustainable community checklist. Northwest Policy Center, Graduate School of Public Affairs, University of Washington.
- Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., & Fischer, M.** (2013). Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment*, 60, 81-92.
- Bettemir, Ö. H.** (2006). *Sensitivity and error analysis of a differential rectification method for CCD frame cameras and pushbroom scanners* (Master's thesis, Middle East Technical University).
- Bettemir, Ö. H.** (2009). Kazı ve hafriyat sürelerindeki belirsizliğin Monte Carlo Analizi ile tahmini. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(2), 165-173.
- Bettemir, Ö. H.** (2011). Prediction of georeferencing precision of pushbroom scanner images. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 50(3), 831-838.
- Bettemir, Ö. H.** (2016). Recommendations on the solution of accommodation problem and recovery after destructive earthquakes. *International Journal of Emergency Management*, 12(2), 168-184.
- Bettemir, Ö.H.** (2017). *İnşaat Mühendisleri İçin Mühendislik Ekonomisi*, Kitap, İnönü Üniversitesi Yayınevi.
- Bettemir, Ö. H.** (2020). Computation of Critical Path Probabilities by Modified PERT. *Gazi University Journal of Science*, 33(3), 673 – 694, 10.35378/gujs. 611579.
- Bettemir, Ö. H., & Birgonul, M. T.** (2023). Solution of discrete time–cost trade-off problem with adaptive search domain. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- Bettemir, O., & Bulak, Ö.** (2022). İnşaat sürecinin iş çizelgelemesi, yönetimi ve optimizasyonu. *Teknik Dergi*, 33(6), 12945-12986.
- Bettemir, Ö.H., Gündüz, E., Akkurt, O., Hilal, E., Arslan, M.A.** (2019), İnşaat işlerinin iş programına bağlı nakit akışı değişkenliğinin saptanması ve düzenlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 211-223.
- Bettemir, Ö.H., & Yücel, T.** (2021). Zaman maliyet ödünleşim probleminin en az insan müdahalesi ile oluşturulup çözülmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(2), 461-480.
- Bolattürk, A.** (2006). Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. *Applied thermal engineering*, 26(11-12), 1301-1309.
- Bolattürk, A.** (2008). Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Building and environment*, 43(6), 1055-1064.
- Bostancıoğlu, E.** (2010). Konutlarda Duvar ve Çatı Yalıtımlarının Bina Kabuğu, Isıtma Enerjisi ve Yaşam Dönemi Maliyetleri Üzerindeki Etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 15(1).

- Bozkurt, E.** (2007). *Life cycle assessment (LCA) based home rating model for İzmir (HRM-İzmir)*. Izmir Institute of Technology (Turkey).
- BS EN 15643-2.** (2011). *Sustainability of construction works – assessment of buildings. Part 2: Framework for the assessment of environmental performance*.
- BS EN 15804.** (2012). *Sustainability of construction works – environmental product declarations – core rules for the product category of construction products; 2012*.
- BS EN 15978.** (2011). *Sustainability of construction works – assessment of environmental performance of buildings – calculation method; 2011*.
- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A.** (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 29, 394-416.
- Cao, V. H., Pilehvar, S., Salas-Bringas, C., Szczotok, A. M., Rodriguez, J. F., & Carmona, M.** (2017). Nodar 484 Al-Manasir, Kjoniksen A., Microencapsulated phase change materials for enhancing the 485 thermal performance of Portland cement concrete and geopolymer concrete for 486 passive building applications. *Energy Conversion and Management*, 133, 56-66.
- Carbon Brief.** Carbon Brief Türkiye Profili, Erişim Tarihi: 11.06.2023, <https://www.carbonbrief.org/carbon-brief-turkiye-profil/>
- Ceylan, E. Z.** (2019). Dijital İkizler ve İnşaat Sektöründeki Yeri. *Yapı Bilgi Modelleme*, 1(2), 53-61.
- Chastas, P., Theodosiou, T., Kontoleon, K. J., & Bikas, D.** (2018). Normalising and assessing carbon emissions in the building sector: A review on the embodied CO2 emissions of residential buildings. *Building and Environment*, 130, 212-226.
- Chau, C. K., Hui, W. K., Ng, W. Y., & Powell, G.** (2012). Assessment of CO2 emissions reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options. *Resources, conservation and recycling*, 61, 22-34.
- Civan, U.**, 2006. *Akıllı Binaların Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60 s., İstanbul.
- Copiello, S.** (2016). Economic implications of the energy issue: Evidence for a positive non-linear relation between embodied energy and construction cost. *Energy and buildings*, 123, 59-70.
- Crawford, R. H., Bartak, E. L., Stephan, A., & Jensen, C. A.** (2016). Evaluating the life cycle energy benefits of energy efficiency regulations for buildings. *Renewable and sustainable energy reviews*, 63, 435-451.
- Crawley, D., & Aho, I.** (1999). Building environmental assessment methods: applications and development trends. *Building Research & Information*, 27(4-5), 300-308.
- CSB.** Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Rayiç ve Analizler (2022/3), Erişim Tarihi: 02/09/2022, <https://yfk.csb.gov.tr/birim-fiyatlar-i-100468>

- Cui, H. Z., Sham, F. C., Lo, T. Y., & Lum, H. T.** (2011). Appraisal of alternative building materials for reduction of CO2 emissions by case modeling. *Int. J. Environ. Res.*, 5(1):93-100.
- Curran, M.A.**, 2015. *Life Cycle Assessment Student Handbook*. Massachusetts, USA: Wiley-Scrivener, 2015.
- De Wolf, C. C. E. L.** (2014). *Material quantities in building structures and their environmental impact* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Del Rosario, P., Palumbo, E., & Traverso, M.** (2021). Environmental product declarations as data source for the environmental assessment of buildings in the context of level (s) and DGNB: how feasible is their adoption?. *Sustainability*, 13(11), 6143.
- Demirer, G.** (2011). *Yaşam Döngüsü Analizi: Pratik Yaşam Döngüsü Analizi Klavuzu AB Sürecinde İşletmeler ve Kamu için Yaşam Döngüsü Analizi Yöntem ve Örnekleri*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Dictionary, M. W.** (2002). *Merriam-webster*. On-line at <http://www.mw.com/home.htm>.
- Dino, I. G., & Akgül, C. M.** (2019). Impact of climate change on the existing residential building stock in Turkey: An analysis on energy use, greenhouse gas emissions and occupant comfort. *Renewable energy*, 141, 828-846.
- Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H.** (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and buildings*, 42(8), 1238-1247.
- Drewniok, M. P., Azevedo, J. M. C., Dunant, C. F., Allwood, J. M., Cullen, J. M., Ibell, T., & Hawkins, W.** (2023). Mapping material use and embodied carbon in UK construction. *Resources, Conservation and Recycling*, 197, 107056.
- Du Plessis, C.** (2001). Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries—First Discussion Document CSIR. Pretoria and CIB, Rotterdam.
- Edwards, B.** (2007), “Sürdürülebilirlik Kültürü ve Mimari Tasarımın Önündeki Güçler”, *Ekolojik Mimarlık ve Planlama Ulusal Sempozyumu*, Antalya, s: 22-34.
- Edwards, R. E., Lou, E., Bataw, A., Kamaruzzaman, S. N., & Johnson, C.** (2019). Sustainability-led design: Feasibility of incorporating whole-life cycle energy assessment into BIM for refurbishment projects. *Journal of Building Engineering*, 24, 100697.
- Ekundayo, D., Perera, S., Udeaja, C., & Zhou, L.** (2012). Carbon review and qualitative comparison of selected carbon counting tools. *In RICS COBRA Research Conference*.
- Emami, N., Marteinsson, B., & Heinonen, J.** (2016). Environmental impact assessment of a School building in Iceland using LCA-including the effect of long distance transport of materials. *Buildings*, 6(4), 46.
- EN 15978:2011** (2011); *Sustainability of Construction Works—Assessment of Environmental Performance of Buildings—Calculation Method*. CEN: Brussels, Belgium.

- EN, B.** (2012). *15804; Sustainability of Construction Works—Environmental Product Declarations—Core Rules for the Product Category of Construction Products*. The British Standards Institution.
- EPD.** Çevresel ürün beyanları sistemi el kitapçığı, Erişim Tarihi: 04.06.2022, <https://epdturkey.org/wp-content/uploads/EPD-%C3%87evresel-%C3%9Cr%C3%BCn-Beyanlar%C4%B1-Sistemi-El-Kitab%C4%B1-EPDTurkey.pdf>
- Ergen, F., & Bettemir, Ö. H.** (2023). Yüksek doğrulukta kaba inşaat kalemlerinin metrajını hesaplayan YBM tabanlı prototip yazılımın geliştirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1), 86-105.
- Erzurum, T., Bettemir, Ö. H.** (2021), Sustainability Analysis for the Construction of Temporary Houses, *14th International Congress on Advances in Civil Engineering- ACE 2020-21* (pp. 354-360).
- Erzurum, T., Bettemir, Ö. H.** (2022), Sustainability Analysis for the Construction of Rural Houses, *7th International Project and Construction Management Conference- IPCMC2022*, (pp. 1292-1303).
- Erzurum, T., Bettemir, Ö. H.** (2023). Tek katlı Kırsal Bölge Yapısının Gömülü Enerji ve Karbon Salınımının Analizi. *Politeknik Dergisi*, 1-1.
- EU.** (2010), European Commission, Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (EPBD recast).
- Fay, R., Treloar, G., & Iyer-Raniga, U.** (2000). Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. *Building Research & Information*, 28(1), 31-41.
- Fufa, S. M., Skaar, C., Gradeci, K., & Labonnote, N.** (2018). Assessment of greenhouse gas emissions of ventilated timber wall constructions based on parametric LCA. *Journal of Cleaner Production*, 197, 34-46.
- Gauch, H. L., Hawkins, W., Ibell, T., Allwood, J. M., & Dunant, C. F.** (2022). Carbon vs. cost option mapping: A tool for improving early-stage design decisions. *Automation in Construction*, 136, 104178.
- Gelowitz, M. D. C., & McArthur, J. J.** (2016). Investigating the effect of environmental product declaration adoption in LEED® on the construction industry: A case study. *Procedia Engineering*, 145, 58-65.
- Gelowitz, M. D. C., & McArthur, J. J.** (2017). Comparison of type III environmental product declarations for construction products: Material sourcing and harmonization evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 157, 125-133.
- Gilman, R.** (1992). Sustainability by Robert Gilman from the 1992 UIA/AIA call for sustainable community solutions. 16 Mart 2003.
- Global Construction Products. LCA Database.** <https://lcadatabase.com/>. Erişim Tarihi: 02/09/2022.
- Global Footprint Network,** Erişim Tarihi: 19/01/2021, <https://data.footprintnetwork.org/#/>
- Gökçe, Ş., Aytekin, O., Kuşan, H., & Zorluer, İ.** (2018). Türkiye’de mevzuatlar ve standartlar açısından sürdürülebilir yapıım. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(3), 289-312.

- Göktürk, İ.** (2007). *İnşaat sektöründe fizibilite aşamasında maliyet tahmini yapmakta karşılaşılan zorluklar ve çözüm önerileri üzerine bir değerlendirme* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Guan, L., Walmsely, M., & Chen, G.** (2015). Life cycle energy analysis of eight residential houses in Brisbane, Australia. *Procedia Engineering*, 121, 653-661.
- Haapio, A. ve Viitaniemi, P.** (2008). A critical review of building environmental assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 28(7), 469-482. doi:10.1016/j.eiar.2008.01.002.
- Häfliger, I. F., John, V., Passer, A., Lasvaux, S., Hoxha, E., Saade, M. R. M., & Habert, G.** (2017). Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials. *Journal of cleaner production*, 156, 805-816.
- Häkkinen, T., Kuittinen, M., Ruuska, A., & Jung, N.** (2015). Reducing embodied carbon during the design process of buildings. *Journal of Building Engineering*, 4, 1-13.
- Hammond, G., & Jones, C.** (2008). Inventory of carbon & energy: ICE (Vol. 5). Bath, UK: Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, University of Bath.
- Hammond, G. P., & Jones, C. I.** (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy*, 161(2), 87-98.
- Hammond, G., Jones, C., Lowrie, E. F., Tse, P.** (2011), "Embodied carbon. The inventory of carbon and energy (ICE) Version (2.0)".
- HM Government, The Innovation and Growth Team (IGT),** The Building and Approved Inspectors (Amendment) Regulations 2006, TSO, 2006.
- Hoşkara, E.** (2007). *Ülkesel koşullara uygun sürdürülebilir yapım için stratejik yönetim modeli* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ).
- Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L., & Acquaye, A.** (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings—A review of current trends. *Energy and Buildings*, 66, 232-245.
- ILCD:** European Commission—Joint Research Centre—Institute for Environment and Sustainability International Reference Life Cycle Data System (ILCD). Handbook: Specific Guide for Life Cycle Inventory Data Sets, Erişim Tarihi: 12.12.2022, <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/JRC-Reference-Report-ILCD-Handbook-Towards-more-sustainable-production-and-consumption-for-a-resource-efficient-Europe.pdf>
- International Energy Agency.** Energy End-uses and Efficiency Indicators Data Explorer. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-end-uses-and-efficiency-indicators-data-explorer>. Erişim Tarihi: 11.06.2023.
- International EPD System,** Erişim Tarihi: 04/12/2022, <https://www.environdec.com/resources/indicators>
- IEA, U.** (2019). Global status report for buildings and construction 2019. UN Environment programme, 224.

- IPCC** (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Retrieved on August 12, 2019 from. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>.
- IRP**: The International Resource Panel, <https://www.resourcepanel.org/> , Erişim Tarihi: 19/01/2021.
- Islam, M. Z., & Wang, S.** (2023). Exploring the unique characteristics of environmental sustainability in China: Navigating future challenges. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 21(1), 37-42.
- ISO 14040** (2006), *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*, International Organization of Standardization, Second Edition.
- Iyer-Raniga, U., & Wong, J. P. C.** (2012). Evaluation of whole life cycle assessment for heritage buildings in Australia. *Building and Environment*, 47, 138-149.
- İMSAD**: Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği (2018), Sürdürülebilir İnşaat Malzemeleri Terimler Sözlüğü, ISBN: 978-605-81691-0-4, İstanbul.
- Jacques, P.** (2020). *Sustainability: the basics*. Routledge.
- Jiao, Y., Lloyd, C. R., & Wakes, S. J.** (2012). The relationship between total embodied energy and cost of commercial buildings. *Energy and Buildings*, 52, 20-27.
- Joo, N. Y., & Song, S. Y.** (2023). Improvement of thermal insulation performance of precast concrete curtain walls for apartment buildings. *Energy and Buildings*, 296, 113350.
- Junnila, S., & Horvath, A.** (2003). Life-cycle environmental effects of an office building. *Journal of Infrastructure systems*, 9(4), 157-166.
- Junnila, S., Horvath, A., & Guggemos, A. A.** (2006). Life-cycle assessment of office buildings in Europe and the United States. *Journal of infrastructure systems*, 12(1), 10-17.
- Kara H.** (2015), EPD Son Gelişmeler ve Markalar, *Eko Yapı Dergisi*, Sayı: 28, ISSN 2146-9636, S:113-114.
- Karami, P., Al-Ayish, N., & Gudmundsson, K.** (2015). A comparative study of the environmental impact of Swedish residential buildings with vacuum insulation panels. *Energy and Buildings*, 109, 183-194.
- Karimpour, M., Belusko, M., Xing, K., & Bruno, F.** (2014). Minimising the life cycle energy of buildings: Review and analysis. *Building and environment*, 73, 106-114.
- Kayaçetin, N. C., & Tanyer, A. M.** (2020). Embodied carbon assessment of residential housing at urban scale. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109470.
- Khasreen, M. M., Banfill, P. F., & Menzies, G. F.** (2009). Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 1(3), 674-701.

- Kısa Ovalı, P.,** (2009). *Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Kibert, C. J.** (1994, November). Establishing principles and a model for sustainable construction. *In Proceedings of the first international conference on sustainable construction* (pp. 6-9). Tampa Florida.
- Kibert, C. J.** (2007). The next generation of sustainable construction. *Building Research & Information*, 35(6), 595-601.
- Langston, C., Chan, E. H., & Yung, E. H.** (2018). Embodied carbon and construction cost differences between Hong Kong and Melbourne buildings. *Construction Economics and Building*, 18(4), 84-102.
- Leoto, R., & Lizarralde, G.** (2019). Challenges in evaluating strategies for reducing a building's environmental impact through Integrated Design. *Building and Environment*, 155, 34-46.
- Mammadov, A., & Cılız, N.** (2017). Yaşam Döngüsü Analizi: Tanımı, Amacı, Sürdürülebilirlik Kavramları ile İlişkisi ve Sanayideki Yeri. *T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı "Kalkınmada Anahtar Verimlilik" Dergisi*, Eylül.
- Marosky, N., Dose, J., Fleischer, G., & Ackermann, R.** (2007). Challenges of data transfer between CAD and LCA software tools. *In Proceedings of the 3rd International Conference on Life Cycle Management*, University of Zurich, Irchel, Switzerland.
- Marzouk, M., & Elshaboury, N.** (2022). Science mapping analysis of embodied energy in the construction industry. *Energy Reports*, 8, 1362-1376.
- McManus, M. C., & Taylor, C. M.** (2015). The changing nature of life cycle assessment. *Biomass and bioenergy*, 82, 13-26.
- Mendenhall, W. and Sincich, T.** (2014), *Statistics for Engineering and the Sciences*, 4th ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Meral Akgül, C. & Gürsel Dino, İ.** (2020). RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarına göre konutlarda iklim değişikliği etki değerlendirmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35 (3), 1665-1684.
- Metin, B.** (2017). *Bina Yapım Sürecinde Çevresel Performansın Değerlendirilmesi İçin Bir Model Önerisi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), İTÜ, 38 s., İstanbul.
- Moran, H.** (2018). *Farklı derece gün bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlığının yatırım-tasarruf yöntemine göre hesaplanması ve çevresel etki analizi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü), Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi.

- Morel, J. C., Mesbah, A., Oggero, M., & Walker, P.** (2001). Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and environment*, 36(10), 1119-1126.
- Nematchoua, M. K., Sendrahasina, R. M., Malmedy, C., Orosa, J. A., Simo, E., & Reiter, S.** (2022). Analysis of environmental impacts and costs of a residential building over its entire life cycle to achieve nearly zero energy and low emission objectives. *Journal of Cleaner Production*, 373, 133834.
- NOAA, Climate Change:** Atmospheric Carbon Dioxide, Erişim Tarihi: 21/01/2021, <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- Norouzi, M., Haddad, A. N., Jiménez, L., Hoseinzadeh, S., & Boer, D.** (2023). Carbon footprint of low-energy buildings in the United Kingdom: Effects of mitigating technological pathways and decarbonization strategies. *Science of The Total Environment*, 882, 163490.
- Ortiz, O., Castells, F., & Sonnemann, G.** (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and building materials*, 23(1), 28-39.
- Ortiz-Rodríguez, O., Castells, F., & Sonnemann, G.** (2010). Life cycle assessment of two dwellings: One in Spain, a developed country, and one in Colombia, a country under development. *Science of the total environment*, 408(12), 2435-2443.
- Özbalta T. ve Çakmanus İ.**, 2008, *Binalarda Sürdürülebilirlik, Ömür Boyu Maliyete İlişkin Yaklaşımlar*, Doğa Yayıncılık Ltd. Şti, İstanbul, 11-15s.
- Özçuhadar, T.** (2007). *Sürdürülebilir çevre için enerji etkin tasarımın yaşam döngüsü sürecinde incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özeler Kanan, N., Gültekin, A., Çelebi, G.** (2015), “Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında enerji verimli cephe sistemlerine ilişkin bir literatür araştırması”, 2. *Uluslararası Bina Sempozyumu*, Ankara.
- Öztaş, S. K.** (2014). *Türk yapı malzemesi sektörü için yaşam döngüsü etki değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi*, İTÜ (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), İstanbul.
- Öztok, M., & Menlik, T.** (2022). Energy Economy and Carbon Emission Potential Comparison of Heating Systems by Using Multi Criteria Decision Making Methods (AHP, VIKOR and TOPSIS). *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 320-335.
- Pamuk, R., & Kuruoğlu, M.** (2016). İnşaat sektöründe sürdürülebilirlik ve bina inşaatlarında evrensel uygulama örnekleri. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1).

- Passer, A., Lasvaux, S., Allacker, K., De Lathauwer, D., Spirinckx, C., Wittstock, B., ... & Wallbaum, H.** (2015). Environmental product declarations entering the building sector: critical reflections based on 5 to 10 years experience in different European countries. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 1199-1212.
- Petrovic, B., Myhren, J. A., Zhang, X., Wallhagen, M., & Eriksson, O.** (2019a). Life cycle assessment of building materials for a single-family house in Sweden. *Energy Procedia*, 158, 3547-3552.
- Petrovic, B., Myhren, J. A., Zhang, X., Wallhagen, M., & Eriksson, O.** (2019b). Life cycle assessment of a wooden single-family house in Sweden. *Applied Energy*, 251, 113253.
- Pierce, F. J., & Larson, W. E.** (1993). Developing criteria to evaluate sustainable land management. In *Proceedings of the eighth international soil management workshop: utilization of soil survey information for sustainable land use* (pp. 7-14).
- Pomponi, F., & Moncaster, A.** (2016). Embodied carbon mitigation and reduction in the built environment—What does the evidence say?. *Journal of environmental management*, 181, 687-700.
- Pomponi, F., & Moncaster, A.** (2018). Scrutinising embodied carbon in buildings: The next performance gap made manifest. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2431-2442.
- REC.** Kaynak, Çevre ve İklim Derneği (Regional Environmental Center: REC), Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma için Eğitim Mevcut Durum Raporu, Erişim Tarihi: 19/01/2021. https://rec.org.tr/wp-content/uploads/2016/11/ske_mevcutdurumraporu1.pdf
- RICS.** (2014). Methodology to calculate embodied carbon.
- Rodrigues, V., Martins, A. A., Nunes, M. I., Quintas, A., Mata, T. M., & Caetano, N. S.** (2018). LCA of constructing an industrial building: Focus on embodied carbon and energy. *Energy Procedia*, 153, 420-425.
- Rossi, B., Marique, A. F., Glaumann, M., & Reiter, S.** (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. *Building and Environment*, 51, 395-401.
- Röck, M., Hollberg, A., Habert, G., & Passer, A.** (2018). LCA and BIM: Integrated assessment and visualization of building elements’ embodied impacts for design guidance in early stages. *Procedia CIRP*, 69, 218-223.
- Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., ... & Passer, A.** (2020). Embodied GHG emissions of buildings—The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258, 114107.

- Ruckelshaus, W. D.** (1989). Toward a sustainable world. *Scientific American*, 261(3), 166-175.
- Sağlam, B., & Bettemir, Ö. H.** (2018). Estimation of duration of earthwork with backhoe excavator by Monte Carlo Simulation. *Journal of Construction Engineering*, 1(2), 85-94.
- Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L.** (2019). Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. *Automation in Construction*, 103, 127-149.
- Sapan, M.A.** (2017). *Erzurum ilinde ısı yalıtım kalınlıklarının enerji, ekonomik ve çevresel analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Sartori, I., & Hestnes, A. G.** (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and buildings*, 39(3), 249-257.
- Säynäjoki, A., Heinonen, J., Junnila, S., & Horvath, A.** (2017). Can life-cycle assessment produce reliable policy guidelines in the building sector?. *Environmental Research Letters*, 12(1), 013001.
- Scheuer, C., Keoleian, G. A., & Reppe, P.** (2003). Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. *Energy and buildings*, 35(10), 1049-1064.
- Scientific Applications International Corporation (SAIC)**, Curran, M. A., National Risk Management Research Laboratory (US), & Office of Research and Development, Environmental Protection Agency, United States. (2006). Life-cycle assessment: principles and practice.
- Sev, A.,** (2009). “*Sürdürülebilir Mimarlık*”, 1. Baskı, YEM Yayınları, İstanbul.
- Shukla, A., Tiwari, G. N., & Sodha, M. S.** (2009). Embodied energy analysis of adobe house. *Renewable Energy*, 34(3), 755-761.
- Siegenthaler, C.P., Braunschweig, A., Oeterli, G., Furter, S.** (2005), LCA software guide 2005 market overview-software potraits, Zurich, İsviçre.
- Silva, D., Nunes, A. O., da Silva Moris, A., Moro, C., & Piekarski, T. O. R.** (2017, June). How important is the LCA software tool you choose Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto. *In Proceedings of the VII Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida en Latinoamérica, Medellin, Colombia* (pp. 10-15).
- Soust-Verdaguer, B., Palumbo, E., Llatas, C., Velasco Acevedo, Á., Fernández Galvéz, M. D., Hoxha, E., & Passer, A.** (2023). The use of environmental product declarations of construction products as a data source to conduct a building life-cycle assessment in Spain. *Sustainability*, 15(2), 1284.

- Soysal, Y.** (2015). *Yerel Yönetimler İçin Evsel Katı Atık Tarifelerinin Belirlenmesi Üzerine Geliştirilen Bir Hesap Yöntemi*, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Sposito, C., & Scalisi, F.** (2019). A possible tool for the choice of building materials: the environmental product declaration (EPD). *In 3rd International Conference on Environmental Design*, 3-4 October| Marsala-Sicily (pp. 189-199). Palermo University Press.
- Steinmann, Z., & Huijbregts, M. A.**, (2.1. Areas of protection and environmental mechanisms covered), Erişim Tarihi: 04/12/2022, https://lc-impact.eu/doc/method/Chapter4_Ionizing-radiation.pdf
- Stephan, A., Crawford, R. H., & De Myttenaere, K.** (2013). A comprehensive assessment of the life cycle energy demand of passive houses. *Applied energy*, 112, 23-34.
- SÜRATAM** (Sürdürülebilir Üretim ve Arge ve Tasarım Merkezi): Çevresel Ürün Beyanları Kayıt Sistemi, Erişim Tarihi: 10.10.2022, <http://www.turcomdat.com>
- Süt, N. İ., Hamurcu, M., & Tamer, E.** (2019). Kampüste yeşil ulaşım uygulaması: Ring araçlarının seçimi için bir karar verme süreci. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 9-21.
- Şenel, A.** (2010). *Sürdürülebilir bina yapım ilkelerinin ve yeni yaklaşımların incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Takano, A., Winter, S., Hughes, M., & Linkosalmi, L.** (2014). Comparison of life cycle assessment databases: A case study on building assessment. *Building and environment*, 79, 20-30.
- Treloar, G., Fay, R., Love, P. E. D., & Iyer-Raniga, U.** (2000). Analysing the life-cycle energy of an Australian residential building and its householders. *Building Research & Information*, 28(3), 184-195.
- TS EN ISO 14020** (2002), *Çevre Etiketleri ve Beyanları- Genel Prensipler*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 825**, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.
- Tuna Taygun, G.** (2005). *Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi*. Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Udomsap, A. D., & Hallinger, P.** (2020). A bibliometric review of research on sustainable construction, 1994–2018. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120073.
- UKGBC** (2019). Net Zero Carbon Buildings: A Framework Definition. Advancing Net Zero, April.
- Uluslararası Çevre Koruma Sözleşmeleri**, TMMOB-Çevre Mühendisleri Odası, Erişim Tarihi: 20/01/2021, https://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/0a964846d55e228_ek.pdf

- Upton, B., Miner, R., Spinney, M., & Heath, L. S.** (2008). The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. *Biomass and Bioenergy*, 32(1), 1-10.
- USEtox:** Karakterizasyon faktörleri, Erişim Tarihi: 04/12/2022, <https://usetox.org/faq-page/how-use-usetox-characterization-factors/what-are-units-characterization-factors-usetox>
- Victoria, M. F., Perera, S., Davies, A., & Fernando, N.** (2017). Carbon and cost critical elements: a comparative analysis of two office buildings. *Built environment project and asset management*, 7(5), 460-470.
- Vukotic, L., Fenner, R. A., & Symons, K.** (2010). Assessing embodied energy of building structural elements. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability* (Vol. 163, No. 3, pp. 147-158).
- Walsh, C. J.** (1987). Construction related sustainability performance indicators. In *CIB Proceedings of the Fourth International Symposium on Building Economics*, January 1987.
- Wang, W., Zmeureanu, R., & Rivard, H.** (2005). Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization. *Building and environment*, 40(11), 1512-1525.
- Yıldırım, S.** (2020). *Yenilenebilir enerji yatırımlarının analitik hiyerarşi süreci ile değerlendirilmesi* (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Yüksel, M.** (2021). *Embodied carbon assessment of urban railway systems in turkey based on material quantification* (Master's thesis, Middle East Technical University).
- Zhou, Y., Tam, V. W., & Le, K. N.** (2023). Developing a multi-objective optimization model for improving building's environmental performance over the whole design process. *Building and Environment*, 246, 110996.
- Url-1** <<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/b78a078c-ffaf-4d59-a96f-08da599e304a/Data>>, Erişim Tarihi: 19.06.2023.
- Url-2** <<https://tr.investing.com/indices/fed-funds-composite-interest-rate-historical-data>>, Erişim Tarihi: 10.01.2024.
- Url-3** <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Construction_producer_price_and_construction_cost_indices_overview&oldid=296810>, Erişim Tarihi: 10.01.2024.
- Url-4** <<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=54259>>, Erişim Tarihi: 10.01.2024.
- Url-5** <<http://www.carbonify.com/carbon-calculator.htm>>, Erişim Tarihi: 21.10.2023.
- Url-6** <<https://data.lcadatabase.com/datasetdetail/process.xhtml?uuid=e68f545e-ec1b-43da-84b7-84383ede6806>>, Erişim Tarihi: 19.06.2023.

EKLER

Ek A: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının İnşaat Rayiçlerinin Çevresel Etki ve Maliyet Verileri.

Ek B: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının İnşaat Birim Fiyat Analizi Çevresel Etki ve Maliyet Verileri.

Ek A ve Ek B elektronik ortamda sunulmuştur. Bağlantı adresi:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/19-C0i2nh_UN9ZZWR18rnYj_MgQtZCi55Zfz2QFYQmwc/edit?usp=sharing

Bağlantı adresi ayrıca EPD belgelerinin tamamının atıflarını da içermektedir.

Ek C: İnönü Üniversitesi Derslik Yapısı Proje Detayları.

Ek D: Derslik Yapısı Çevresel Etki ve Maliyet Kriterleri Analiz Sonuçları.

Ek E: Derslik Yapısı Metraj Listesi ve Pozları.

Ek F: Konut Yapısı Proje Detayları.

Ek G: Konut Yapısı Çevresel Etki ve Maliyet Kriterleri Analiz Sonuçları.

Ek H: Konut Yapısı Metraj Listesi ve Pozları.

Ek K: Derslik Yapısı Veri Analiz Tabloları.

Ek L: Konut Yapısı Veri Analiz Tabloları.

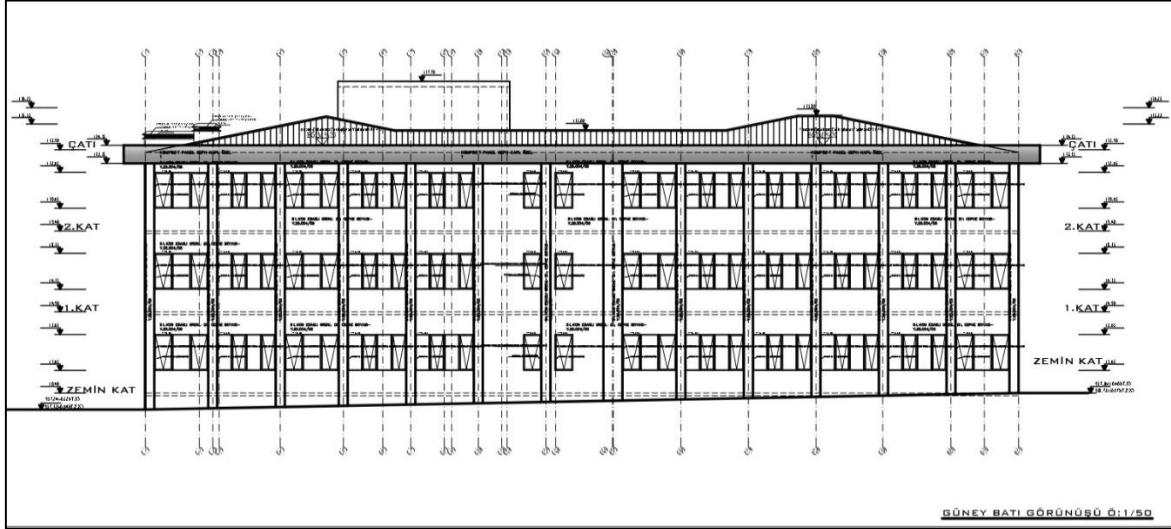
Ek M: Derslik Yapısı YDA Alternatif Malzeme Analizi Tabloları.

Ek N: Konut Yapısı YDA Alternatif Malzeme Analizi Tabloları.

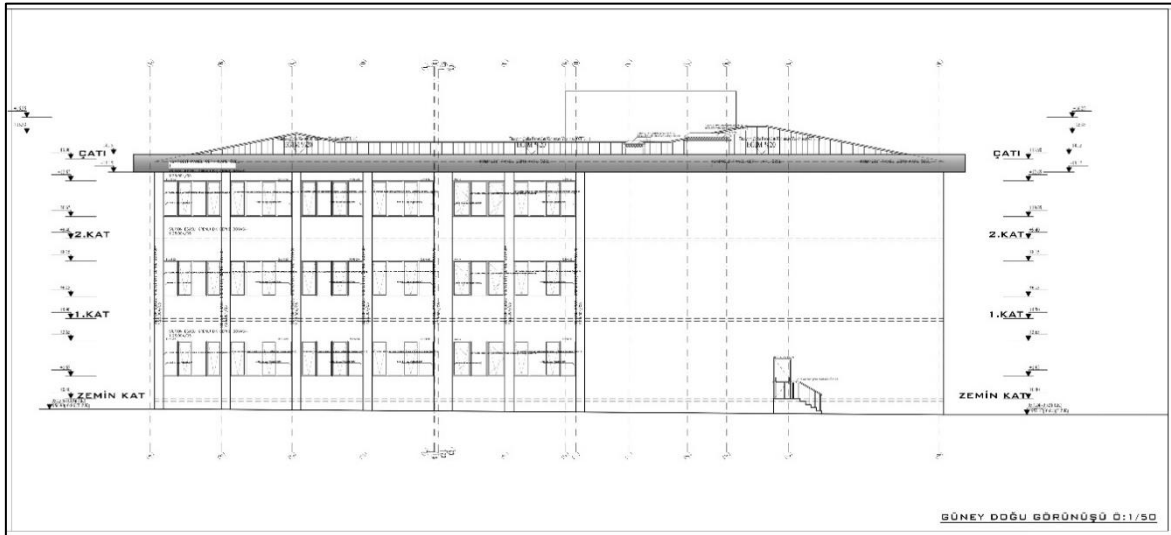
Ek P: Geliştirilen YapıCEA Uygulaması ile Derslik Yapısı Analiz Sonuçları.

EK C: Derslik Binası Proje Detayları.

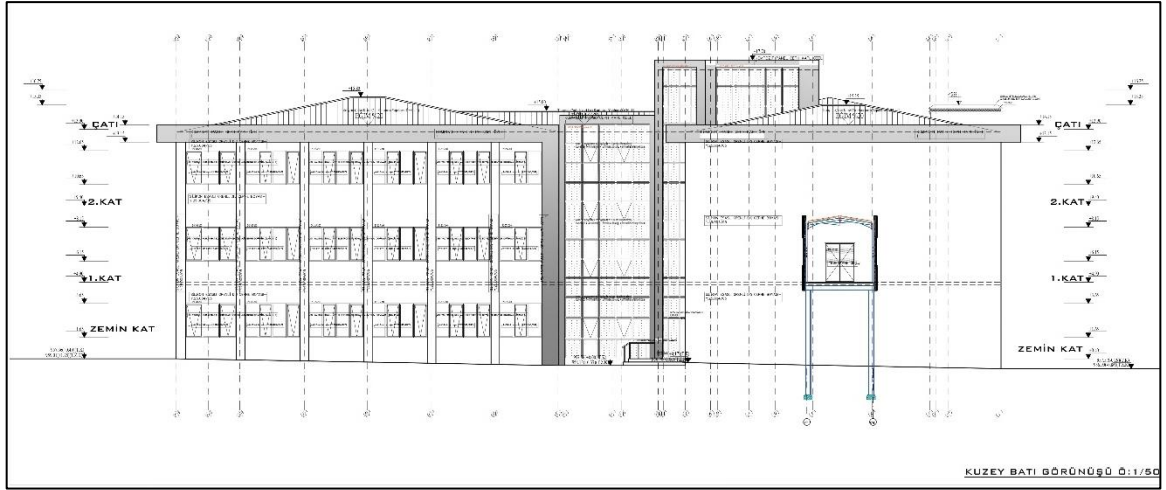
Derslik bloğu, 1326 m² zemin oturma alanına ve toplam 4296,98 m² toplam inşaat alanına sahiptir. Şekil C.1-9' da sunulan proje detayları yapıyı temsil etmektedir.



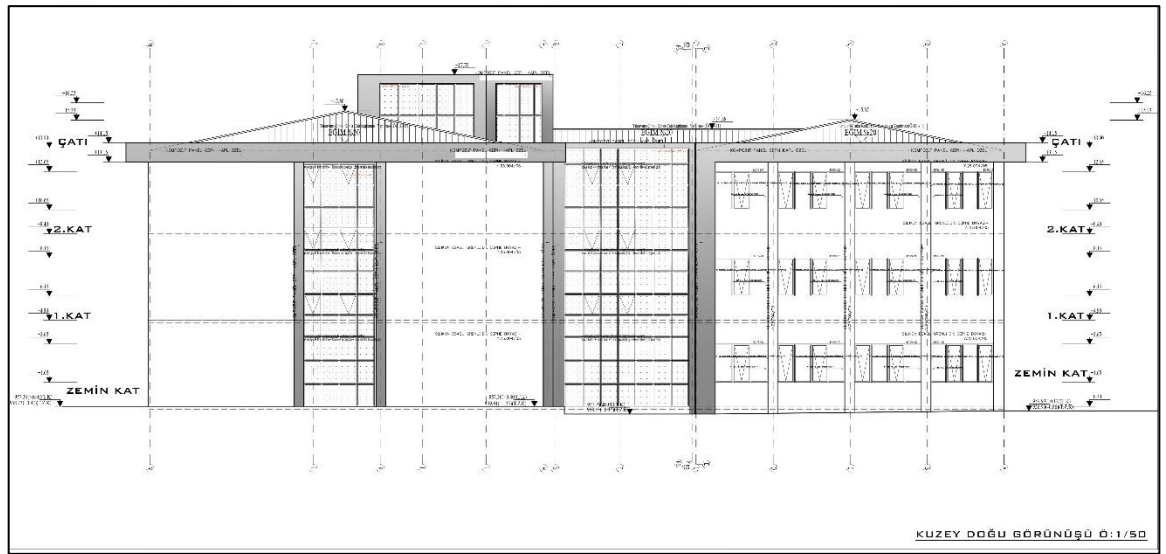
Şekil C.1 : Derslik bloğu güney batı görünüşü.



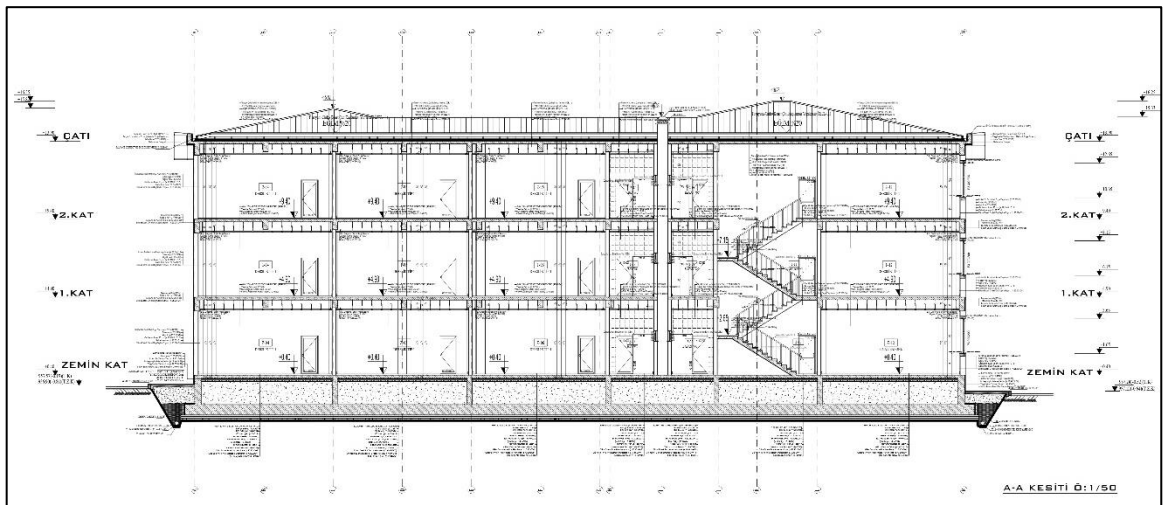
Şekil C.2 : Derslik bloğu güney doğu görünüşü.



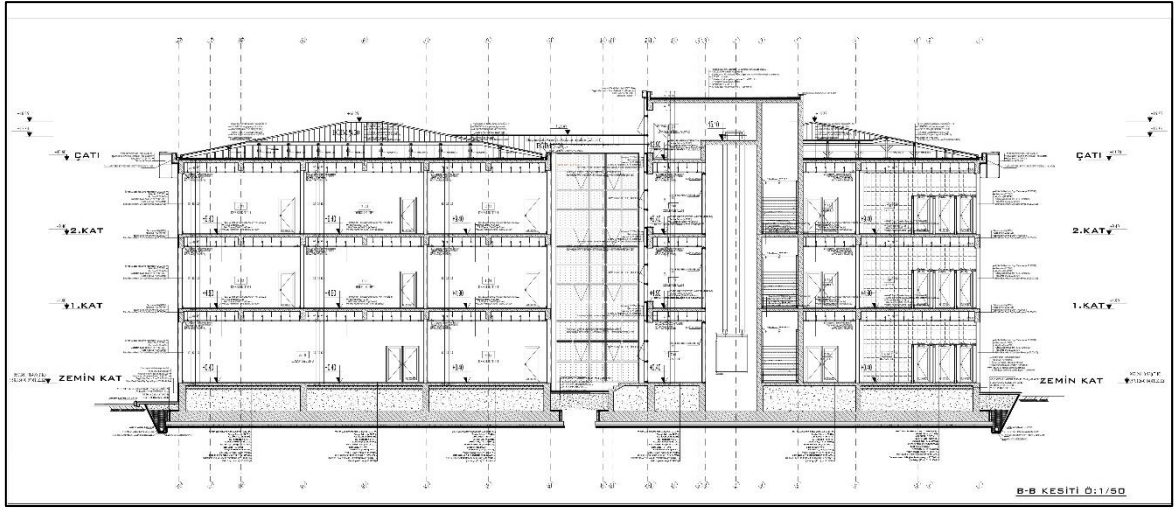
Şekil C.3 : Derslik bloğu kuzey batı görünüşü.



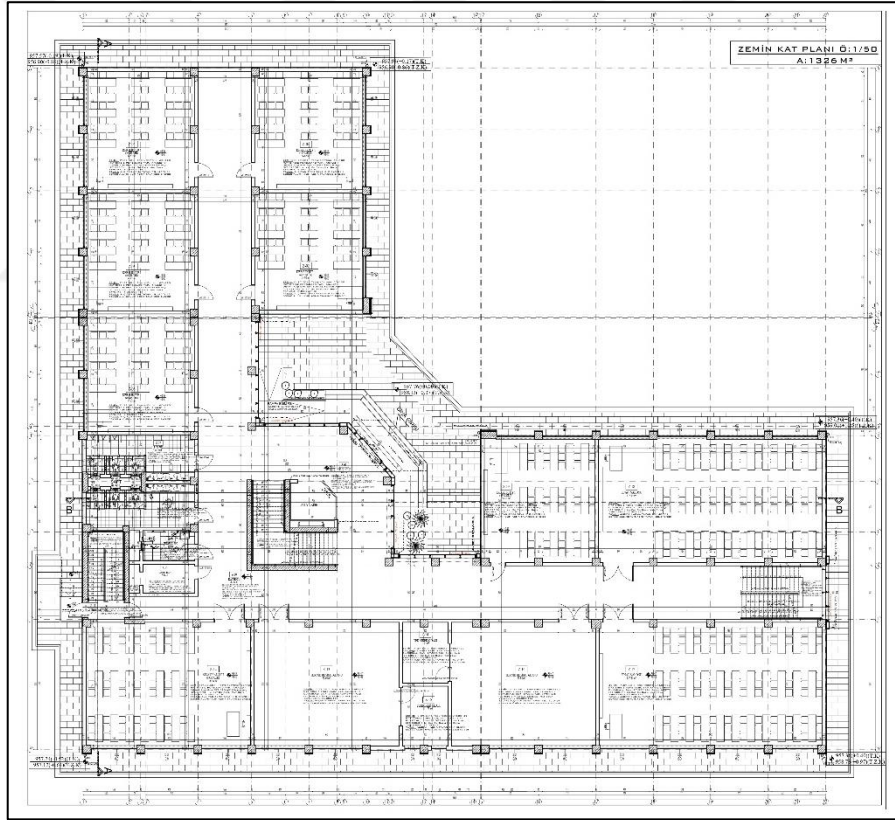
Şekil C.4 : Derslik bloğu kuzey doğu görünüşü.



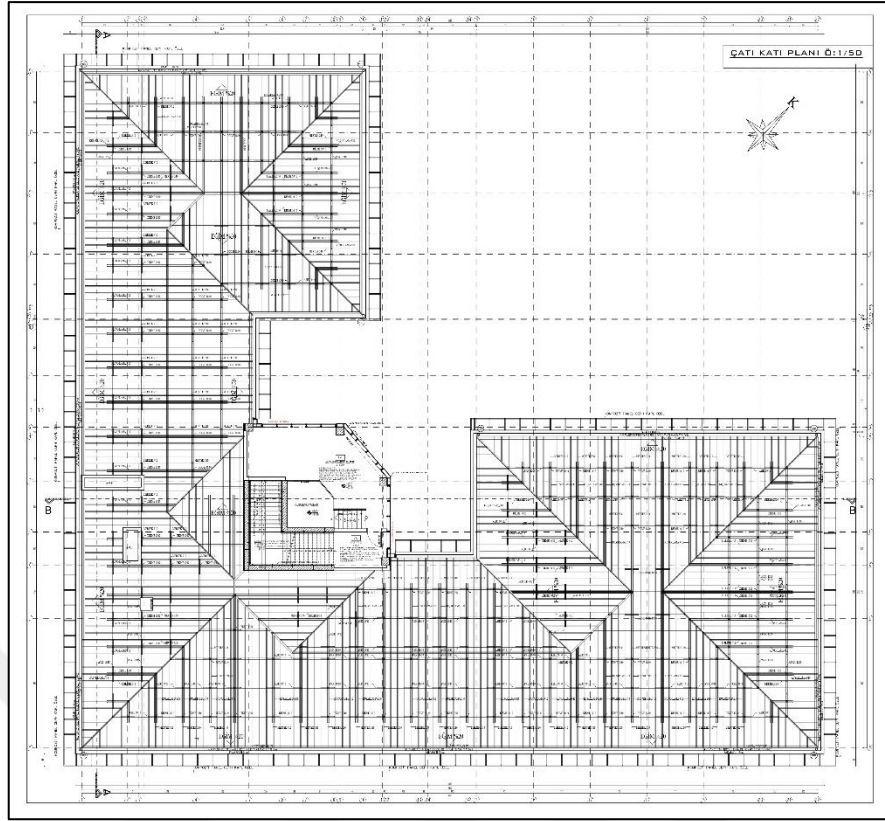
Şekil C.5 : Derslik bloğu kesit 1.



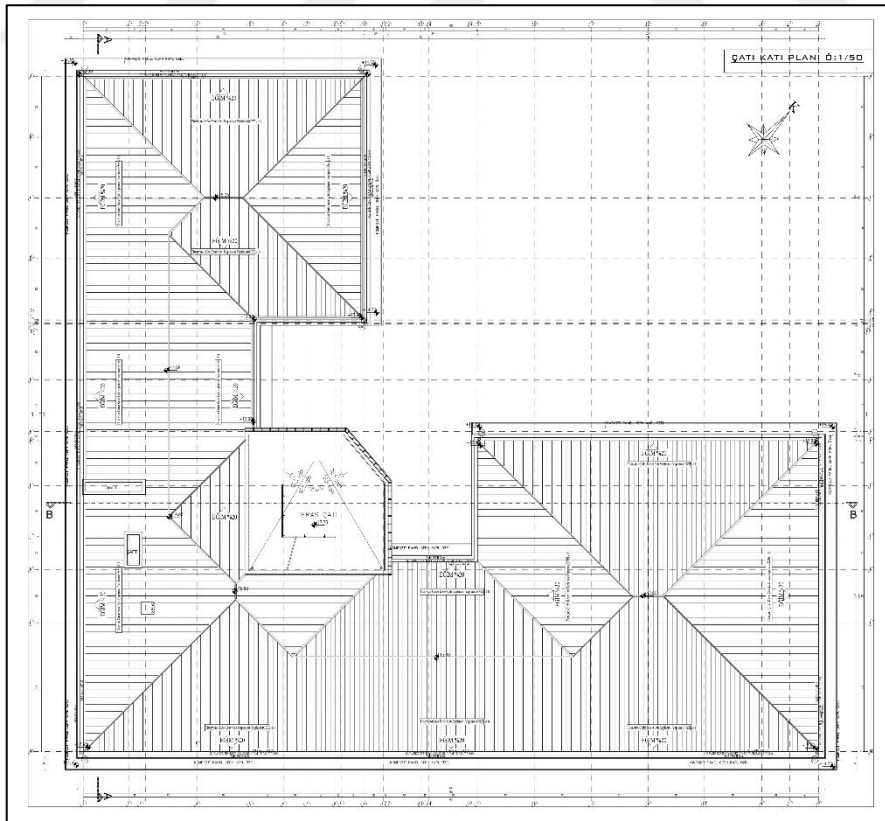
Şekil C.6 : Derslik bloğu kesit 2.



Şekil C.7 : Derslik bloğu zemin, 1. ve 2. kat planı.



Şekil C.8 : Derslik bloğu çatı katı planı 1.



Şekil C.9 : Derslik bloğu çatı katı planı 2.

EK D: Derslik Yapısı Çevresel Etki ve Maliyet Kriterlerinin Analiz Sonuçları.

*Yapı Malzemeleri İçin ‘Üretim ve Kurulum’ (A1-2-3-5 aşamaları) ve ‘Üretim, Kurulum ve Kullanım’ (A1-2-3-5 ve B3-4-5 aşamaları) YDA Sonuçları

*Sıra No: Yapının metraj bilgisinden bu numaraya denk gelen poz numarası ile malzemenin adına erişilebilmektedir.

Çizelge D.1 : Derslik binası temel çevresel etki kategorisi sonuçları (‘Üretim ve Kurulum’ yaşam dönemi).

Sıra No/ Kategori	Maliyet (\$)	Maliyet etki yüzdesi	GWP (kgCO ₂ eşd.)	GWP etki yüzdesi	ODP (kgCFC11 eşd.)	ODP etki yüzdesi	AP (mol H+ eşd.)	AP etki yüzdesi	EP- Freshwater (kgP eşd.)	EP etki yüzdesi	POCP (kgNMVOC eşd.)	POCP etki yüzdesi	ADPE (kgSb eşd.)	ADPE etki yüzdesi	ADPF (MJ)	ADPF etki yüzdesi
1	1,35E+04	1,04%	5,05E+03	0,26%	4,92E-04	0,36%	3,71E+01	0,46%	3,75E+00	0,81%	1,37E+01	0,47%	1,04E-01	0,60%	8,94E+04	0,50%
2	4,49E+04	3,47%	1,02E+05	5,27%	6,15E-03	4,45%	7,96E+02	9,86%	3,73E+01	8,08%	2,57E+02	8,90%	1,28E+00	7,32%	1,03E+06	5,76%
3	2,96E+03	0,23%	3,53E+03	0,18%	1,88E-04	0,14%	2,74E+01	0,34%	1,35E+00	0,29%	7,08E+00	0,24%	6,80E-02	0,39%	3,61E+04	0,20%
4	4,87E+02	0,04%	4,66E+02	0,02%	1,90E-04	0,14%	2,44E+00	0,03%	1,38E-01	0,03%	1,22E+00	0,04%	6,97E-03	0,04%	9,61E+03	0,05%
5	2,54E+04	1,97%	4,85E+04	2,50%	1,12E-03	0,81%	9,50E+01	1,18%	5,78E+00	1,25%	5,06E+01	1,75%	1,42E-01	0,81%	3,29E+05	1,85%
6	9,60E+03	0,74%	1,39E+04	0,72%	8,88E-04	0,64%	1,24E+02	1,53%	4,15E+00	0,90%	1,61E+01	0,56%	2,74E-02	0,16%	7,46E+05	4,19%
7	3,55E+02	0,03%	3,93E+02	0,02%	6,35E-08	0,00%	3,53E+00	0,04%	6,47E-02	0,01%	3,07E-01	0,01%	7,95E-02	0,45%	4,61E+03	0,03%
8	1,38E+02	0,01%	2,01E+02	0,01%	1,47E-05	0,01%	2,36E+00	0,03%	7,41E-02	0,02%	2,36E-01	0,01%	1,13E-01	0,64%	2,62E+03	0,01%
9	8,47E+01	0,01%	4,60E+01	0,00%	3,37E-06	0,00%	5,41E-01	0,01%	1,70E-02	0,00%	5,40E-02	0,00%	2,57E-02	0,15%	5,98E+02	0,00%
10	4,98E+04	3,85%	6,08E+04	3,13%	9,02E-03	6,52%	1,41E+02	1,74%	7,19E+00	1,56%	9,30E+01	3,22%	3,97E-01	2,27%	9,81E+05	5,51%
11	1,21E+04	0,93%	1,34E+04	0,69%	5,45E-04	0,39%	9,81E+01	1,22%	4,62E+00	1,00%	1,64E+01	0,57%	2,59E-02	0,15%	9,29E+04	0,52%
12	6,65E+03	0,51%	1,02E+04	0,53%	1,27E-03	0,92%	8,00E+01	0,99%	3,57E+00	0,77%	3,42E+01	1,18%	5,19E-01	2,97%	1,06E+05	0,60%
13	7,75E+04	6,00%	1,24E+05	6,37%	1,56E-02	11,25%	8,87E+02	11,00%	5,96E+01	12,92%	4,13E+02	14,27%	6,27E+00	35,85%	1,53E+06	8,58%
14	3,07E+02	0,02%	4,99E+02	0,03%	4,65E-05	0,03%	3,04E+00	0,04%	7,97E-02	0,02%	2,23E+00	0,08%	2,60E-03	0,01%	5,20E+03	0,03%
15	3,46E+03	0,27%	3,18E+02	0,02%	2,33E-05	0,02%	3,44E+00	0,04%	1,84E-01	0,04%	8,82E-01	0,03%	7,78E-03	0,04%	4,69E+03	0,03%
16	1,98E+03	0,15%	4,54E+03	0,23%	4,58E-04	0,33%	2,48E+01	0,31%	9,33E-01	0,20%	1,20E+01	0,41%	2,60E-02	0,15%	6,83E+04	0,38%
17	2,08E+04	1,61%	2,71E+04	1,40%	2,01E-03	1,45%	2,00E+02	2,48%	8,73E+00	1,89%	1,07E+02	3,69%	1,58E-01	0,90%	3,97E+05	2,23%
18	5,22E+04	4,03%	4,39E+04	2,26%	4,36E-03	3,15%	3,16E+02	3,92%	1,83E+01	4,01%	1,50E+02	5,19%	1,41E+00	8,08%	6,38E+05	3,58%
20	3,10E+02	0,02%	3,43E+02	0,02%	1,40E-05	0,01%	2,52E+00	0,03%	1,19E-01	0,03%	4,22E-01	0,01%	6,65E-04	0,00%	2,39E+03	0,01%
21	1,09E+03	0,08%	1,00E+02	0,01%	7,32E-06	0,01%	1,08E+00	0,01%	5,79E-02	0,01%	2,78E-01	0,01%	2,45E-03	0,01%	1,47E+03	0,01%
23	2,22E+03	0,17%	8,61E+02	0,04%	1,21E-03	0,87%	4,76E+00	0,06%	7,09E-02	0,02%	3,35E+00	0,12%	5,14E-03	0,03%	1,58E+04	0,09%
24	9,73E+03	0,75%	2,11E+04	1,09%	1,59E-04	0,12%	4,91E+01	0,61%	2,47E+00	0,54%	1,26E+01	0,44%	6,70E-02	0,38%	4,03E+05	2,27%
25	4,77E+04	3,69%	2,07E+04	1,06%	1,22E-04	0,09%	1,52E+02	1,88%	6,11E+00	1,32%	1,66E+01	0,57%	2,81E+00	16,08%	1,83E+05	1,03%
29	1,44E+04	1,11%	5,20E+03	0,27%	5,35E-04	0,39%	4,07E+01	0,50%	2,08E+00	0,45%	1,50E+01	0,52%	2,63E-02	0,15%	6,69E+04	0,38%
30	3,28E+03	0,25%	1,19E+03	0,06%	1,22E-04	0,09%	9,31E+00	0,12%	4,76E-01	0,10%	3,44E+00	0,12%	6,02E-03	0,03%	1,53E+04	0,09%
32	1,73E+03	0,13%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%
33	7,39E+03	0,57%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%
34	5,98E+03	0,46%	4,84E+03	0,25%	5,58E-04	0,40%	4,40E+01	0,55%	5,95E+00	1,29%	1,75E+00	0,06%	2,08E-03	0,01%	6,14E+04	0,34%
35	2,20E+03	0,17%	6,33E+02	0,03%	7,30E-05	0,05%	5,75E+00	0,07%	7,77E-01	0,17%	2,28E-01	0,01%	2,72E-04	0,00%	8,02E+03	0,05%
36	9,50E+03	0,73%	1,15E-03	0,00%	1,15E-03	0,83%	6,85E+01	0,85%	5,87E+00	1,27%	5,83E+01	2,02%	2,55E-02	0,15%	1,14E+05	0,64%
37	6,75E+03	0,52%	7,67E-04	0,00%	7,67E-04	0,55%	4,58E+01	0,57%	3,92E+00	0,85%	3,90E+01	1,35%	1,70E-02	0,10%	7,59E+04	0,43%
38	5,21E+03	0,40%	4,69E-04	0,00%	4,69E-04	0,34%	3,47E+01	0,43%	2,94E+00	0,64%	2,94E+01	1,02%	1,18E-02	0,07%	4,91E+04	0,28%
39	1,08E+04	0,84%	5,01E+04	2,58%	1,92E-03	1,39%	1,15E+02	1,43%	2,15E+01	4,66%	1,46E+01	0,50%	3,14E-02	0,18%	2,96E+05	1,66%

Çizelge D.1 (devam) : Derslik binası temel çevresel etki kategorisi sonuçları (‘Üretim ve Kurulum’ yaşam dönemi).

Sıra No/ Kategori	Maliyet etiği yüzdesi	Maliyet (\$)	GWP (kgCO ₂ eşd.)	GWP yüzdesi	ODP etki yüzdesi	ODP (kgCFC11 eşd.)	ODP yüzdesi	AP (mol H+ eşd.)	AP etki yüzdesi	EP- Freshwater (kgP eşd.)	EP etki yüzdesi	POCP (kgNMVOC eşd.)	POCP etki yüzdesi	ADPE (Kgsb eşd.)	ADPE etki yüzdesi	ADPF (MJ)	ADPF etki yüzdesi
40	5,62E+02	0,04%	2,65E+03	0,14%	9,64E-05	0,07%	5,98E+00	0,07%	1,14E+00	0,25%	7,60E-01	0,03%	1,55E-03	0,01%	1,55E+04	0,09%	
41	1,52E+05	11,72%	8,35E+05	42,97%	3,63E-02	26,27%	2,16E+03	26,81%	1,67E+02	36,28%	2,19E+02	7,57%	1,25E+00	7,13%	4,73E+06	26,55%	
42	1,10E+03	0,08%	1,18E+02	0,01%	1,08E-05	0,01%	6,59E-01	0,01%	5,61E-02	0,01%	2,70E-02	0,00%	4,08E-04	0,00%	1,02E+03	0,01%	
43	4,05E+02	0,03%	9,65E+02	0,05%	4,07E-05	0,03%	2,86E+00	0,04%	2,04E-01	0,04%	2,56E-01	0,01%	4,85E-04	0,00%	6,43E+03	0,04%	
44	3,49E+04	2,70%	1,00E+05	5,15%	4,23E-03	3,06%	2,97E+02	3,68%	2,12E+01	4,59%	2,66E+01	0,92%	5,04E-02	0,29%	6,68E+05	3,75%	
45	2,24E+04	1,73%	6,75E+04	3,47%	2,85E-03	2,06%	2,00E+02	2,48%	1,43E+01	3,09%	1,79E+01	0,62%	3,39E-02	0,19%	4,50E+05	2,53%	
46	8,48E+02	0,07%	1,58E+03	0,08%	2,85E-07	0,00%	2,30E+00	0,03%	6,97E-02	0,02%	3,36E-01	0,01%	1,12E-03	0,01%	1,00E+04	0,06%	
47	3,26E+03	0,25%	6,12E+03	0,31%	1,11E-06	0,00%	8,94E+00	0,11%	2,71E-01	0,06%	1,31E+00	0,05%	4,37E-03	0,03%	3,90E+04	0,22%	
48	3,70E+03	0,29%	3,73E+03	0,19%	2,85E-04	0,21%	2,14E+01	0,27%	1,74E+00	0,38%	9,08E+00	0,31%	2,39E-02	0,14%	1,96E+05	1,10%	
49	5,88E+02	0,05%	4,58E+02	0,02%	3,28E-05	0,02%	3,69E+00	0,05%	1,73E-01	0,04%	1,54E+00	0,05%	1,53E-03	0,01%	4,53E+03	0,03%	
50	5,38E+02	0,04%	6,69E+02	0,03%	4,53E-05	0,03%	5,39E+00	0,07%	2,33E-01	0,05%	2,20E+00	0,08%	6,43E+03	0,04%	6,72E+03	0,04%	
51	7,53E+02	0,06%	7,66E+02	0,04%	3,24E-04	0,23%	4,00E+00	0,05%	2,35E-01	0,05%	2,09E+00	0,07%	1,19E-02	0,07%	1,62E+04	0,09%	
52	2,66E+04	2,06%	7,08E+03	0,36%	1,78E-03	1,29%	3,33E+01	0,41%	1,94E+00	0,42%	1,73E+02	5,98%	5,69E-02	0,33%	2,31E+05	1,30%	
53	8,75E+02	0,07%	8,92E+02	0,05%	5,49E-05	0,04%	2,68E+00	0,03%	9,19E-02	0,02%	1,35E+00	0,05%	4,46E-04	0,00%	1,39E+04	0,08%	
54	7,34E+02	0,06%	4,68E+02	0,02%	5,29E-05	0,04%	1,59E+00	0,02%	1,25E-01	0,03%	1,10E+00	0,04%	2,47E-03	0,01%	6,54E+03	0,04%	
55	9,21E+03	0,71%	7,14E+03	0,37%	1,46E-04	0,11%	6,12E+01	0,76%	3,80E-01	0,08%	1,96E+01	0,68%	1,70E-01	0,97%	9,74E+04	0,55%	
56	5,26E+03	0,41%	7,69E+03	0,40%	1,43E-04	0,10%	3,08E+01	0,38%	9,67E-01	0,21%	2,10E+01	0,73%	2,00E-02	0,11%	1,68E+05	0,94%	
57	1,67E+03	0,13%	3,91E+02	0,02%	3,53E-05	0,03%	1,65E+00	0,02%	6,71E-02	0,01%	1,34E+00	0,05%	4,51E-03	0,03%	9,08E+03	0,05%	
58	9,45E+04	7,31%	3,07E+04	1,58%	4,11E-03	2,97%	2,64E+02	3,27%	9,80E+00	2,12%	1,34E+02	4,65%	8,92E-01	5,10%	5,82E+05	3,27%	
59	3,53E+04	2,73%	1,20E+04	0,62%	9,76E-03	7,06%	6,22E+01	0,77%	6,97E-01	0,15%	4,67E+01	1,61%	3,91E-02	0,22%	1,28E+05	0,72%	
60	7,33E+03	0,57%	1,66E+03	0,09%	1,85E-03	1,34%	8,49E+00	0,11%	9,83E-02	0,02%	6,59E+00	0,23%	5,56E-03	0,03%	1,83E+04	0,10%	
61	2,10E+04	1,62%	5,04E+03	0,26%	6,52E-03	4,72%	2,61E+01	0,32%	3,06E-01	0,07%	1,98E+01	0,68%	1,70E-02	0,10%	5,62E+04	0,32%	
62	2,88E+04	2,23%	1,70E+04	0,88%	2,25E-03	1,63%	1,47E+02	1,82%	5,30E+00	1,15%	7,44E+01	2,57%	5,48E-01	3,13%	3,19E+05	1,79%	
63	6,01E+03	0,46%	1,74E+03	0,09%	1,47E-03	1,06%	1,56E+01	0,19%	5,52E-01	0,12%	8,44E+00	0,29%	2,58E-02	0,15%	5,02E+04	0,28%	
64	2,59E+02	0,02%	1,62E+02	0,01%	8,23E-06	0,01%	8,88E-01	0,01%	8,76E-03	0,00%	4,91E-01	0,02%	2,31E-04	0,00%	1,55E+03	0,01%	
65	8,90E+04	6,88%	5,45E+04	2,80%	2,91E-03	2,10%	2,97E+02	3,68%	2,75E+00	0,60%	1,67E+02	5,77%	8,10E-02	0,46%	5,18E+05	2,91%	
66	1,71E+05	13,25%	1,07E+05	5,51%	5,71E-03	4,13%	5,84E+02	7,24%	5,41E+00	1,17%	3,28E+02	11,33%	1,59E-01	0,91%	1,02E+06	5,72%	
67	9,06E+03	0,70%	2,56E+03	0,13%	1,32E-04	0,10%	1,43E+01	0,18%	1,39E-01	0,03%	5,16E+00	0,18%	6,02E-03	0,03%	2,44E+04	0,14%	
68	6,06E+03	0,47%	4,30E+03	0,22%	1,93E-10	0,00%	1,02E+01	0,13%	2,73E-01	0,06%	1,47E+00	0,05%	2,53E-03	0,01%	4,70E+04	0,26%	
69	1,31E+03	0,10%	3,83E+02	0,02%	2,04E-05	0,01%	2,06E+00	0,03%	1,90E-02	0,00%	2,65E-02	0,00%	5,75E-04	0,00%	3,65E+03	0,02%	
70	1,19E+03	0,09%	4,86E+02	0,03%	2,56E-05	0,02%	3,69E+00	0,05%	3,04E-02	0,01%	1,91E+00	0,07%	2,39E-02	0,14%	6,28E+03	0,04%	
71	1,05E+03	0,08%	1,10E+03	0,06%	7,63E-05	0,06%	9,53E+00	0,12%	3,03E-01	0,07%	1,36E+00	0,05%	1,05E-02	0,06%	5,19E+04	0,29%	
72	6,20E+02	0,05%	9,46E+02	0,05%	6,17E-05	0,04%	8,21E+00	0,10%	2,84E-01	0,06%	1,25E+00	0,04%	1,95E-03	0,01%	4,83E+04	0,27%	
73	1,73E+04	1,34%	2,80E+03	0,14%	2,70E-04	0,20%	1,59E+01	0,20%	8,80E-01	0,19%	9,83E+00	0,34%	3,23E-02	0,18%	4,55E+04	0,26%	
74	8,76E+03	0,68%	1,98E+03	0,10%	1,85E-04	0,13%	1,22E+01	0,15%	5,82E-01	0,13%	6,98E+00	0,24%	3,51E-02	0,20%	3,16E+04	0,18%	
75	2,68E+03	0,21%	2,76E+03	0,14%	4,09E-04	0,30%	6,37E+00	0,08%	3,26E-01	0,07%	4,22E+00	0,15%	1,80E-02	0,10%	4,45E+04	0,25%	
76	1,29E+04	1,00%	1,23E+04	0,63%	1,83E-03	1,32%	2,85E+01	0,35%	1,46E+00	0,32%	1,89E+01	0,65%	8,05E-02	0,46%	1,99E+05	1,12%	
77	1,25E+03	0,10%	3,40E+03	0,17%	6,82E-04	0,49%	1,41E+01	0,18%	2,28E-01	0,05%	9,96E+00	0,34%	1,01E-02	0,06%	5,62E+04	0,32%	

Çizelge D.1 (devam) : Derslik binası temel çevresel etki kategorisi sonuçları (‘Üretim ve Kurulum’ yaşam dönemi).

Sıra No/ Kategori	Maliyet (\$)	Maliyet etki yüzdesi	GWP (kgCO ₂ eşd.)	GWP etki yüzdesi	ODP (kgCFC11 eşd.)	ODP etki yüzdesi	AP (mol H+ eşd.)	AP etki yüzdesi	EP- Freshwater (kgP eşd.)	EP etki yüzdesi	POCP (kgNMVOC eşd.)	POCP etki yüzdesi	ADPE (kgSb eşd.)	ADPE etki yüzdesi	ADPF (MJ)	ADPF etki yüzdesi
78	1,61E+03	0,12%	1,70E+03	0,09%	8,18E-05	0,06%	1,92E+01	0,24%	8,62E-01	0,19%	1,13E+00	0,04%	4,01E-03	0,02%	1,56E+04	0,09%
79	1,85E+03	0,14%	3,01E+03	0,15%	2,80E-04	0,20%	1,83E+01	0,23%	4,80E-01	0,10%	1,34E+01	0,46%	1,57E-02	0,09%	3,14E+04	0,18%
80	7,45E+03	0,58%	9,22E+03	0,47%	9,29E-04	0,67%	6,00E+01	0,74%	1,47E+00	0,32%	4,41E+01	1,52%	5,00E-02	0,29%	1,03E+05	0,58%
81	1,44E+03	0,11%	1,73E+03	0,09%	1,53E-04	0,11%	1,01E+01	0,13%	2,76E-01	0,06%	7,39E+00	0,26%	8,16E-03	0,05%	1,72E+04	0,10%
82	1,25E+03	0,10%	1,44E+03	0,07%	1,28E-04	0,09%	8,41E+00	0,10%	2,30E-01	0,05%	6,16E+00	0,21%	6,80E-03	0,04%	1,44E+04	0,08%
83	2,82E+02	0,02%	3,13E+02	0,02%	2,76E-05	0,02%	1,82E+00	0,02%	4,98E-02	0,01%	1,33E+00	0,05%	1,53E-03	0,01%	3,11E+03	0,02%
84	6,42E+02	0,05%	6,45E+02	0,03%	6,06E-05	0,04%	3,96E+00	0,05%	1,03E-01	0,02%	2,90E+00	0,10%	3,53E-03	0,02%	6,79E+03	0,04%
85	2,36E+02	0,02%	3,17E+02	0,02%	1,29E-05	0,01%	2,33E+00	0,03%	1,10E-01	0,02%	3,90E-01	0,01%	6,15E-04	0,00%	2,21E+03	0,01%
86	5,80E+03	0,45%	6,97E+03	0,36%	2,28E-04	0,16%	1,91E+01	0,24%	1,12E+00	0,24%	1,32E+01	0,46%	1,00E-02	0,06%	3,04E+04	0,17%
87	1,36E+03	0,11%	2,26E+03	0,12%	4,68E-05	0,03%	4,62E+00	0,06%	2,81E-01	0,06%	2,69E+00	0,09%	2,01E-03	0,01%	1,28E+04	0,07%
88	1,48E+02	0,01%	1,78E+02	0,01%	4,92E-06	0,00%	2,35E+01	0,37%	2,58E-02	0,01%	2,86E-01	0,01%	2,16E-04	0,00%	8,72E+02	0,00%
89	7,98E+03	0,62%	1,10E+04	0,56%	3,56E-04	0,26%	4,38E+01	0,37%	1,74E+00	0,38%	2,08E+01	0,72%	1,58E-02	0,09%	4,76E+04	0,27%
90	3,30E+02	0,03%	4,54E+02	0,02%	1,48E-05	0,01%	1,24E+00	0,02%	7,29E-02	0,02%	8,62E-01	0,03%	6,55E-04	0,00%	1,98E+03	0,01%
91	1,16E+04	0,90%	2,24E+04	1,15%	7,43E-04	0,54%	6,21E+01	0,77%	3,74E+00	0,81%	4,24E+01	1,47%	3,22E-02	0,18%	9,90E+04	0,56%
92	7,43E+02	0,06%	4,84E+02	0,02%	4,35E-05	0,03%	1,50E+00	0,02%	9,36E-02	0,02%	8,42E-01	0,03%	2,96E-03	0,02%	5,92E+03	0,03%
93	1,91E+04	1,48%	1,12E+04	0,58%	1,02E-03	0,74%	3,56E+01	0,44%	2,46E+00	0,53%	1,92E+01	0,67%	3,33E-02	0,19%	1,39E+05	0,78%
Toplam	1,29E+06		1,94E+06		1,38E-01		8,07E+03		4,62E+02		2,89E+03		1,75E+01		1,78E+07	

Çizelge D.2 : Derslik binası temel çevresel etki kategorisi sonuçları (‘Üretim, Kurulum ve Kullanım’ yaşam dönemi).

Sıra No/ Kategori	Maliyet (\$)	Maliyet etki yüzdesi	GWP (kgCO ₂ eşd.)	GWP etki yüzdesi	ODP (kgCFC11 eşd.)	ODP etki yüzdesi	AP (mol H+ eşd.)	AP etki yüzdesi	EP- Freshwater (kgP eşd.)	EP etki yüzdesi	POCP (kgNMVOC eşd.)	POCP etki yüzdesi	ADPE (kgSb eşd.)	ADPE etki yüzdesi	ADPF (MJ)	ADPF etki yüzdesi
1	1,35E+04	0,78%	5,05E+03	0,23%	4,92E-04	0,28%	3,71E+01	0,38%	3,75E+00	0,67%	1,37E+01	0,37%	1,04E-01	0,41%	8,94E+04	0,39%
2	4,49E+04	2,59%	1,02E+05	4,57%	6,15E-03	3,50%	7,96E+02	8,17%	3,73E+01	6,68%	2,57E+02	6,98%	1,28E+00	4,99%	1,03E+06	4,53%
3	2,96E+03	0,17%	3,53E+03	0,16%	1,88E-04	0,11%	2,74E+01	0,28%	1,35E+00	0,24%	7,08E+00	0,19%	6,80E-02	0,27%	3,61E+04	0,16%
4	9,75E+02	0,06%	9,32E+02	0,04%	3,80E-04	0,22%	4,87E+00	0,05%	2,76E-01	0,05%	2,44E+00	0,07%	1,39E-02	0,05%	1,92E+04	0,08%
5	2,54E+04	1,47%	4,85E+04	2,17%	1,12E-03	0,64%	9,50E+01	0,98%	5,78E+00	1,03%	5,06E+01	1,37%	1,42E-01	0,55%	3,29E+05	1,45%
6	9,60E+03	0,55%	1,39E+04	0,62%	8,88E-04	0,51%	1,24E+02	1,27%	4,15E+00	0,74%	1,61E+01	0,44%	2,74E-02	0,11%	7,46E+05	3,29%
7	3,55E+02	0,02%	3,93E+02	0,02%	6,35E-08	0,00%	3,53E+00	0,04%	6,47E-02	0,01%	3,07E-01	0,01%	7,95E-02	0,31%	4,61E+03	0,02%
8	1,38E+02	0,01%	2,01E+02	0,01%	1,47E-05	0,01%	2,36E+00	0,02%	7,41E-02	0,01%	2,36E-01	0,01%	1,13E-01	0,44%	2,62E+03	0,01%
9	8,47E+01	0,00%	4,60E+01	0,00%	3,37E-06	0,00%	5,41E-01	0,01%	1,70E-02	0,00%	5,40E-02	0,00%	2,57E-02	0,10%	5,98E+02	0,00%
10	9,97E+04	5,76%	1,22E+05	5,42%	1,80E-02	10,27%	2,81E+02	2,89%	1,44E+01	2,57%	1,86E+02	5,04%	7,94E-01	3,10%	1,96E+06	8,66%
11	1,21E+04	0,70%	1,34E+04	0,60%	5,45E-04	0,31%	9,81E+01	1,01%	4,62E+00	0,83%	1,64E+01	0,45%	2,59E-02	0,10%	9,29E+04	0,41%
12	1,33E+04	0,77%	2,05E+04	0,91%	2,53E-03	1,44%	1,60E+02	1,64%	7,14E+00	1,28%	6,85E+01	1,86%	1,04E+00	4,05%	2,13E+05	0,94%

Çizelge D.2 (devam) : Derslik binası temel çevresel etki kategorisi sonuçları (‘Üretim, Kurulum ve Kullanım’ yaşam dönemi).

Sıra No/ Kategori	Maliyet etiği (\$)	Maliyet etiği yüzdesi	GWP (kgCO ₂ eşd.)	GWP yüzdesi	ODP (kgCFC11 eşd.)	ODP etki yüzdesi	AP (mol H+ eşd.)	AP etki yüzdesi	EP- Freshwater (kgP eşd.)	EP etki yüzdesi	POCP (kgNMVOC eşd.)	POCP etiği yüzdesi	ADPE (kgSb eşd.)	ADPE etiği yüzdesi	ADPF (MJ)	ADPF etiği yüzdesi
13	1,55E+05	8,96%	2,48E+05	11,06%	3,11E-02	17,70%	1,77E+03	18,22%	1,19E+02	21,35%	8,26E+02	22,37%	1,25E+01	48,93%	3,05E+06	13,48%
14	3,07E+02	0,02%	4,99E+02	0,02%	4,65E-05	0,03%	3,04E+00	0,03%	7,97E-02	0,01%	2,23E+00	0,06%	2,60E-03	0,01%	5,20E+03	0,02%
15	6,91E+03	0,40%	6,37E+02	0,03%	4,65E-05	0,03%	6,88E+00	0,07%	3,68E-01	0,07%	1,76E+00	0,05%	1,56E-02	0,06%	9,37E+03	0,04%
16	3,96E+03	0,23%	9,08E+03	0,41%	9,16E-04	0,53%	4,96E+01	0,51%	1,87E+00	0,33%	2,39E+01	0,65%	5,21E-02	0,20%	1,37E+05	0,60%
17	2,08E+04	1,21%	2,71E+04	1,21%	2,01E-03	1,14%	2,00E+02	2,05%	8,73E+00	1,56%	1,07E+02	2,89%	1,58E-01	0,62%	3,97E+05	1,75%
18	5,22E+04	3,02%	4,39E+04	1,96%	4,36E-03	2,48%	3,16E+02	3,25%	1,85E+01	3,31%	1,50E+02	4,06%	1,41E+00	5,52%	6,38E+05	2,82%
20	3,10E+02	0,02%	3,43E+02	0,02%	1,40E-05	0,01%	2,52E+00	0,03%	1,19E-01	0,02%	4,22E-01	0,01%	6,65E-04	0,00%	2,39E+03	0,01%
21	2,17E+03	0,13%	2,00E+02	0,01%	1,46E-05	0,01%	2,16E+00	0,02%	1,16E-01	0,02%	5,55E-01	0,02%	4,90E-03	0,02%	2,95E+03	0,01%
23	2,22E+03	0,13%	8,61E+02	0,04%	1,21E-03	0,69%	4,76E+00	0,05%	7,09E-02	0,01%	3,35E+00	0,09%	5,14E-03	0,02%	1,58E+04	0,07%
24	9,73E+03	0,56%	2,11E+04	0,94%	1,59E-04	0,09%	4,91E+01	0,50%	2,47E+00	0,44%	1,26E+01	0,34%	6,70E-02	0,26%	4,03E+05	1,78%
25	4,77E+04	2,75%	2,07E+04	0,92%	1,22E-04	0,07%	1,52E+02	1,56%	6,11E+00	1,09%	1,66E+01	0,45%	2,81E+00	10,98%	1,83E+05	0,81%
29	1,44E+04	0,83%	5,20E+03	0,23%	5,35E-04	0,30%	4,07E+01	0,42%	2,08E+00	0,37%	1,50E+01	0,41%	2,63E-02	0,10%	6,69E+04	0,30%
30	3,28E+03	0,19%	1,19E+03	0,05%	1,22E-04	0,07%	9,31E+00	0,10%	4,76E-01	0,09%	3,44E+00	0,09%	6,02E-03	0,02%	1,53E+04	0,07%
32	1,73E+03	0,10%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%
33	7,39E+03	0,43%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%
34	5,98E+03	0,35%	4,84E+03	0,22%	5,58E-04	0,32%	4,40E+01	0,45%	5,95E+00	1,06%	1,75E+00	0,05%	2,08E-03	0,01%	6,14E+04	0,27%
35	2,20E+03	0,13%	6,33E+02	0,03%	7,30E-05	0,04%	5,75E+00	0,06%	7,77E-01	0,14%	2,28E-01	0,01%	2,72E-04	0,00%	8,02E+03	0,04%
36	9,50E+03	0,55%	1,15E+03	0,00%	1,15E-03	0,65%	6,85E+01	0,70%	5,87E+00	1,05%	5,83E+01	1,58%	2,55E-02	0,10%	1,14E+05	0,50%
37	6,75E+03	0,39%	7,67E-04	0,00%	7,67E-04	0,44%	4,58E+01	0,47%	3,92E+00	0,70%	3,90E+01	1,06%	1,70E-02	0,07%	7,59E+04	0,34%
38	5,21E+03	0,30%	4,69E-04	0,00%	4,69E-04	0,27%	3,47E+01	0,36%	2,94E+00	0,53%	2,94E+01	0,80%	1,18E-02	0,05%	4,91E+04	0,22%
39	1,08E+04	0,63%	5,01E+04	2,23%	1,92E-03	1,09%	1,15E+02	1,18%	2,15E+01	3,85%	1,46E+01	0,40%	3,14E-02	0,12%	2,96E+05	1,31%
40	5,62E+02	0,03%	2,65E+03	0,12%	9,64E-05	0,05%	5,98E+00	0,06%	1,14E+00	0,20%	7,60E-01	0,02%	1,55E-03	0,01%	1,55E+04	0,07%
41	1,52E+05	8,76%	8,35E+05	37,29%	3,63E-02	20,67%	2,16E+03	22,22%	1,67E+02	29,98%	2,19E+02	5,93%	1,25E+00	4,87%	4,73E+06	20,86%
42	1,10E+03	0,06%	1,18E+02	0,01%	1,08E-05	0,01%	6,59E-01	0,01%	5,61E-02	0,01%	2,70E-02	0,00%	4,08E-04	0,00%	1,02E+03	0,00%
43	4,05E+02	0,02%	9,65E+02	0,04%	4,07E-05	0,02%	2,86E+00	0,03%	2,04E-01	0,04%	2,56E-01	0,01%	4,85E-04	0,00%	6,43E+03	0,03%
44	3,49E+04	2,02%	1,00E+05	4,47%	4,23E-03	2,40%	2,97E+02	3,05%	2,12E+01	3,79%	2,66E+01	0,72%	5,04E-02	0,20%	6,68E+05	2,95%
45	2,24E+04	1,30%	6,75E+04	3,01%	2,85E-03	1,62%	2,00E+02	2,05%	1,43E+01	2,55%	1,79E+01	0,49%	3,39E-02	0,13%	4,50E+05	1,99%
46	8,48E+02	0,05%	1,58E+03	0,07%	2,85E-07	0,00%	2,30E+00	0,02%	6,97E-02	0,01%	3,36E-01	0,01%	1,12E-03	0,00%	1,00E+04	0,04%
47	3,26E+03	0,19%	6,12E+03	0,27%	1,11E-06	0,00%	8,94E+00	0,09%	2,71E-01	0,05%	1,31E+00	0,04%	4,37E-03	0,02%	3,90E+04	0,17%
48	7,39E+03	0,43%	7,46E+03	0,33%	5,69E-04	0,32%	4,28E+01	0,44%	3,48E+00	0,62%	1,82E+01	0,49%	4,78E-02	0,19%	3,93E+05	1,73%
49	5,88E+02	0,03%	4,58E+02	0,02%	3,28E-05	0,02%	3,69E+00	0,04%	1,73E-01	0,03%	1,54E+00	0,04%	1,53E-03	0,01%	4,53E+03	0,02%
50	5,38E+02	0,03%	6,69E+02	0,03%	4,53E-05	0,03%	5,39E+00	0,06%	2,33E-01	0,04%	2,20E+00	0,06%	6,43E-03	0,03%	6,72E+03	0,03%
51	7,53E+02	0,04%	7,66E+02	0,03%	3,24E-04	0,18%	4,00E+00	0,04%	2,35E-01	0,04%	2,09E+00	0,06%	1,19E-02	0,05%	1,62E+04	0,07%
52	2,66E+04	1,54%	7,08E+03	0,32%	1,78E-03	1,01%	3,33E+01	0,34%	1,94E+00	0,35%	1,73E+02	4,68%	5,69E-02	0,22%	2,31E+05	1,02%
53	8,75E+02	0,05%	8,92E+02	0,04%	5,49E-05	0,03%	2,68E+00	0,03%	9,19E-02	0,02%	1,35E+00	0,04%	4,46E-04	0,00%	1,39E+04	0,06%
54	7,34E+02	0,04%	4,68E+02	0,02%	5,29E-05	0,03%	1,59E+00	0,02%	1,25E-01	0,02%	1,10E+00	0,03%	2,47E-03	0,01%	6,54E+03	0,03%
55	9,21E+03	0,53%	7,14E+03	0,32%	1,46E-04	0,08%	6,12E+01	0,63%	3,80E-01	0,07%	1,96E+01	0,53%	1,70E-01	0,67%	9,74E+04	0,43%
56	5,26E+03	0,30%	7,69E+03	0,34%	1,43E-04	0,08%	3,08E+01	0,32%	9,67E-01	0,17%	2,10E+01	0,57%	2,00E-02	0,08%	1,68E+05	0,74%

Çizelge D.2 (devam) : Derslik binası temel çevresel etki kategorisi sonuçları (‘Üretim, Kurulum ve Kullanım’ yaşam dönemi).

Sıra No/ Kategori	Maliyet etiği yüzdesi	Maliyet etiği yüzdesi	GWP (kgCO ₂ eşd.)	GWP etiği yüzdesi	ODP (kgCFC11 eşd.)	ODP etiği yüzdesi	AP (mol H+ eşd.)	AP etki yüzdesi	EP- Freshwater (kgP eşd.)	EP etki yüzdesi	POCP (kgNMVOC eşd.)	POCP etiği yüzdesi	ADPE (kgSb eşd.)	ADPE etiği yüzdesi	ADPF (MJ)	ADPF etiği yüzdesi
57	1,67E+03	0,10%	3,91E+02	0,02%	3,53E-05	0,02%	1,65E+00	0,02%	6,71E-02	0,01%	1,34E+00	0,04%	4,51E-03	0,02%	9,08E+03	0,04%
58	9,45E+04	5,46%	3,07E+04	1,37%	4,11E-03	2,34%	2,64E+02	2,71%	9,80E+00	1,76%	1,34E+02	3,64%	8,92E-01	3,48%	5,82E+05	2,57%
59	3,53E+04	2,04%	1,20E+04	0,54%	9,76E-03	5,55%	6,22E+01	0,64%	6,97E-01	0,12%	4,67E+01	1,26%	3,91E-02	0,15%	1,28E+05	0,57%
60	7,33E+03	0,42%	1,66E+03	0,07%	1,85E-03	1,05%	8,49E+00	0,09%	9,83E-02	0,02%	6,95E+00	0,18%	5,56E-03	0,02%	1,83E+04	0,08%
61	2,10E+04	1,21%	5,04E+03	0,22%	6,52E-03	3,71%	2,61E+01	0,27%	3,06E-01	0,05%	1,98E+01	0,54%	1,70E-02	0,07%	5,62E+04	0,25%
62	2,88E+04	1,67%	1,70E+04	0,76%	2,25E-03	1,28%	1,47E+02	1,51%	5,30E+00	0,95%	7,44E+01	2,02%	5,48E-01	2,14%	3,19E+05	1,41%
63	1,20E+04	0,69%	3,48E+03	0,16%	2,93E-03	1,67%	3,12E+01	0,32%	1,10E+00	0,20%	1,69E+01	0,46%	5,15E-02	0,20%	1,00E+05	0,44%
64	2,59E+02	0,01%	1,62E+02	0,01%	8,23E-06	0,00%	8,88E-01	0,01%	8,76E-03	0,00%	4,91E-01	0,01%	2,31E-04	0,00%	1,55E+03	0,01%
65	8,90E+04	5,15%	5,45E+04	2,43%	2,91E-03	1,65%	2,97E+02	3,05%	2,75E+00	0,49%	1,67E+02	4,52%	8,10E-02	0,32%	5,18E+05	2,29%
66	1,71E+05	9,90%	1,07E+05	4,78%	5,71E-03	3,25%	5,84E+02	6,00%	5,41E+00	0,97%	3,28E+02	8,88%	1,59E-01	0,62%	1,02E+06	4,49%
67	9,06E+03	0,52%	2,56E+03	0,11%	1,32E-04	0,08%	1,43E+01	0,15%	1,39E-01	0,02%	5,16E+00	0,14%	6,02E-03	0,02%	2,44E+04	0,11%
68	6,06E+03	0,35%	4,30E+03	0,19%	1,93E-10	0,00%	1,02E+01	0,10%	2,73E-01	0,05%	1,47E+00	0,04%	2,53E-03	0,01%	4,70E+04	0,21%
69	1,31E+03	0,08%	3,83E+02	0,02%	2,04E-05	0,01%	2,06E+00	0,02%	1,90E-02	0,00%	2,65E-02	0,00%	5,75E-04	0,00%	3,65E+03	0,02%
70	2,38E+03	0,14%	9,73E+02	0,04%	5,13E-05	0,03%	7,38E+00	0,08%	6,08E-02	0,01%	3,82E+00	0,10%	4,78E-02	0,19%	1,26E+04	0,06%
71	7,33E+03	0,42%	7,72E+03	0,34%	5,34E-04	0,30%	6,67E+01	0,68%	2,12E+00	0,38%	9,49E+00	0,26%	7,38E-02	0,29%	3,63E+05	1,60%
72	6,20E+03	0,36%	9,46E+03	0,42%	6,17E-04	0,35%	8,21E+01	0,84%	2,84E+00	0,51%	1,25E+01	0,34%	1,95E-02	0,08%	4,83E+05	2,13%
73	1,73E+05	10,02%	2,80E+04	1,25%	2,70E-03	1,54%	1,59E+02	1,63%	8,80E+00	1,58%	9,83E+01	2,66%	3,23E-01	1,26%	4,55E+05	2,01%
74	8,76E+04	5,06%	1,98E+04	0,88%	1,85E-03	1,05%	1,22E+02	1,25%	5,82E+00	1,04%	6,98E+01	1,89%	3,51E-01	1,37%	3,16E+05	1,39%
75	5,37E+03	0,31%	5,51E+03	0,25%	8,18E-04	0,47%	1,27E+01	0,13%	6,52E-01	0,12%	8,44E+00	0,23%	3,60E-02	0,14%	8,90E+04	0,39%
76	2,57E+04	1,49%	2,46E+04	1,10%	3,66E-03	2,08%	5,70E+01	0,59%	2,91E+00	0,52%	3,77E+01	1,02%	1,61E-01	0,63%	3,98E+05	1,76%
77	2,50E+03	0,14%	6,80E+03	0,30%	1,36E-03	0,78%	2,83E+01	0,29%	4,56E-01	0,08%	1,99E+01	0,54%	2,02E-02	0,08%	1,12E+05	0,50%
78	3,21E+03	0,19%	3,41E+03	0,15%	1,64E-04	0,09%	3,84E+01	0,39%	1,72E+00	0,31%	2,25E+00	0,06%	8,01E-03	0,03%	3,13E+04	0,14%
79	1,85E+03	0,11%	3,01E+03	0,13%	2,80E-04	0,16%	1,83E+01	0,19%	4,80E-01	0,09%	1,34E+01	0,36%	1,57E-02	0,06%	3,14E+04	0,14%
80	7,45E+03	0,43%	9,22E+03	0,41%	9,29E-04	0,53%	6,00E+01	0,62%	1,47E+00	0,26%	4,41E+01	1,19%	5,00E-02	0,20%	1,03E+05	0,46%
81	1,44E+03	0,08%	1,73E+03	0,08%	1,53E-04	0,09%	1,01E+01	0,10%	2,76E-01	0,05%	7,39E+00	0,20%	8,16E-03	0,03%	1,72E+04	0,08%
82	1,25E+03	0,07%	1,44E+03	0,06%	1,28E-04	0,07%	8,41E+00	0,09%	2,30E-01	0,04%	6,16E+00	0,17%	6,80E-03	0,03%	1,44E+04	0,06%
83	2,82E+02	0,02%	3,13E+02	0,01%	2,76E-05	0,02%	1,82E+00	0,02%	4,98E-02	0,01%	1,33E+00	0,04%	1,53E-03	0,01%	3,11E+03	0,01%
84	6,42E+02	0,04%	6,45E+02	0,03%	6,06E-05	0,03%	3,96E+00	0,04%	1,03E-01	0,02%	2,90E+00	0,08%	3,53E-03	0,01%	6,79E+03	0,03%
85	2,36E+02	0,01%	3,17E+02	0,01%	1,29E-05	0,01%	2,33E+00	0,02%	1,10E-01	0,02%	3,90E-01	0,01%	6,15E-04	0,00%	2,21E+03	0,01%
86	5,80E+03	0,34%	6,97E+03	0,31%	2,28E-04	0,13%	1,91E+01	0,20%	1,12E+00	0,20%	1,32E+01	0,36%	1,00E-02	0,04%	3,04E+04	0,13%
87	1,36E+03	0,08%	2,26E+03	0,10%	4,68E-05	0,03%	4,62E+00	0,05%	2,81E-01	0,05%	2,69E+00	0,07%	2,01E-03	0,01%	1,28E+04	0,06%
88	1,48E+02	0,01%	1,78E+02	0,01%	4,92E-06	0,00%	4,35E-01	0,00%	2,58E-02	0,00%	2,86E-01	0,01%	2,16E-04	0,00%	8,72E+02	0,00%
89	7,98E+03	0,46%	1,10E+04	0,49%	3,56E-04	0,20%	2,98E+01	0,31%	1,74E+00	0,31%	2,08E+01	0,56%	1,58E-02	0,06%	4,76E+04	0,21%
90	3,30E+02	0,02%	4,54E+02	0,02%	1,48E-05	0,01%	1,24E+00	0,01%	7,29E-02	0,01%	8,62E-01	0,02%	6,55E-04	0,00%	1,98E+03	0,01%
91	1,16E+04	0,67%	2,24E+04	1,00%	7,43E-04	0,42%	6,21E+01	0,64%	3,74E+00	0,67%	4,24E+01	1,15%	3,22E-02	0,13%	9,90E+04	0,44%
92	1,49E+03	0,09%	9,69E+02	0,04%	8,71E-05	0,05%	3,00E+00	0,03%	1,87E-01	0,03%	1,68E+00	0,05%	5,93E-03	0,02%	1,18E+04	0,05%
93	3,82E+04	2,21%	2,24E+04	1,00%	2,03E-03	1,16%	7,11E+01	0,73%	4,91E+00	0,88%	3,85E+01	1,04%	6,65E-02	0,26%	2,79E+05	1,23%
Toplam	1,73E+06		2,24E+06		1,76E-01		9,74E+03		5,58E+02		3,69E+03		2,56E+01		2,27E+07	

EK E: Derslik Yapısı Metraj Listesi ve Pozları.

*Poz numaralarının tanımlarına, maliyetine ve çevresel etkilerine erişim linki:

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/19-](https://docs.google.com/spreadsheets/d/19-C0i2nh_UN9ZZWR18rnYj_MgQtZCi55Zfz2QFYQmwc/edit?usp=sharing)

[C0i2nh_UN9ZZWR18rnYj_MgQtZCi55Zfz2QFYQmwc/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/19-C0i2nh_UN9ZZWR18rnYj_MgQtZCi55Zfz2QFYQmwc/edit?usp=sharing)

Çizelge E.1 : Derslik binası metraj listesi ve pozları.

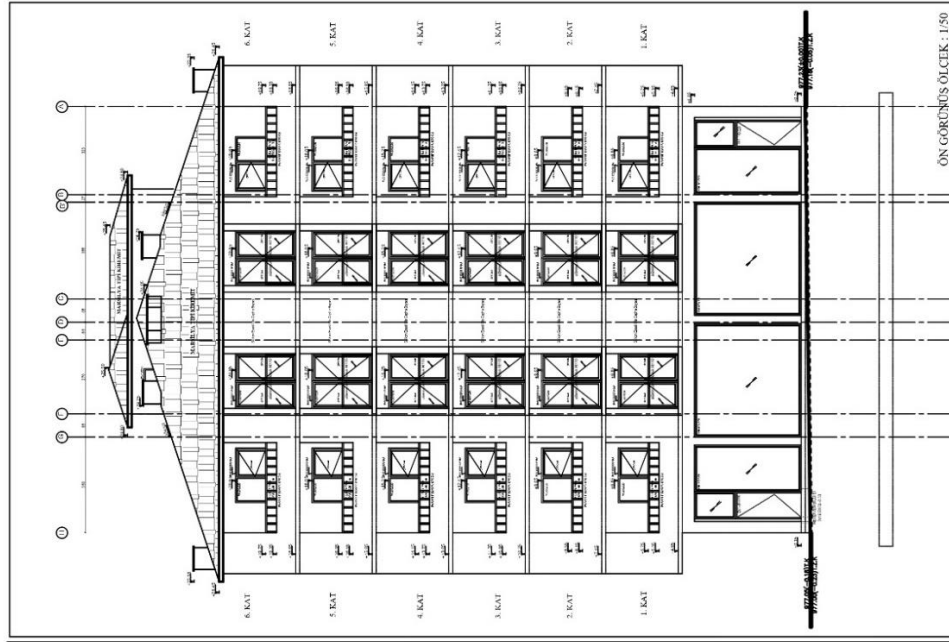
Sıra No	Poz No	Güncel poz no	Birimi	Miktarı	Faydalı Ömür	Sıra No	Poz No	Güncel poz no	Birimi	Miktarı	Faydalı Ömür
1	18.140/D1	15.530.1904	m ²	924,13	50	10	ANALİZ-1	15.390.1008	m ²	3369,79	30
2	23.243/20	15.535.1026	m ²	2387,52	50	11	ANALİZ-2	15.420.1002	m ²	423,05	50
3	23.243/23A	15.535.1031	m ²	130,32	50	12	ANALİZ-4	15.460.1005	kg	785,6	40
4	24.061	15.315.1002	mt	111,2	30	13	ANALİZ-5	15.460.1010	kg	9067,2	40
5	27.525/A2		m ²	6485,739		14	MSB.661	15.410.1103	m ²	11,52	50
5	27.525/A2	19.100.2423	m ³	149,172	50	15	MSB.805/A-Y	48.550.2001	KG	245,7	35
5	27.525/A2	19.100.2433	m ³	64,85739	50	16	MSB.922/A	10.170.2625	m ²	40,176	35
5	27.525/A2	10.130.9991	m ³	64,85739	50	17	ÖZEL.01	10.200.2401	m ²	969,628	60
5	27.525/A2	10.100.1012	sa	3242,87	50	18	ÖZEL.02	111111111	m ²	411	60
5	27.525/A2	10.100.1044	sa	1945,722	50	20	ÖZEL.05	15.420.1002	m ²	10,87	50
5	27.525/A2	10.100.1062	sa	3567,156	50	21	ÖZEL.06	48.550.2001	mt	77,3	35
6	27.528/3	15.280.1011	m ²	7437,169	50	23	ÖZEL.09	15.270.1111	m ²	74,9	50
7	A.04	15.465.1004	ad	50	50	24	ÖZEL.10	10.330.3101	kg	3975	70
8	A.08	15.465.1008	ad	50	50	25	ÖZEL.11	15.325.1001	m ²	1375	70
9	A.10	15.465.1010	ad	183	50	88	Y.27.501/03	15.275.1103	m ²	22,5	50
29	ÖZEL.28		m ²	309,72		52	Y.18.461/006	15.255.1006	m ²	2766,824	50
29	ÖZEL.28	10.240.6735	m ²	309,72	50	53	Y.18.461/042	15.245.1002	m ²	1406,67	50
29	ÖZEL.28	10.170.2202	m ²	309,72	50	54	Y.18.462/021	15.200.1001	m ²	528,024	50
29	ÖZEL.28	15.360.1005	mt	1224	50	55	Y.19.055/053	15.340.1003	m ²	714,1	50
29	ÖZEL.28	10.100.1062	sa	469	50	56	Y.19.057/003	15.335.1503	m ²	1141,15	50
29	ÖZEL.28	10.420.1014	kutu	9,25	50	57	Y.19.085/022	15.270.1002	m ²	248,82	50
30	ÖZEL.29		m ²	70,5		58	Y.21.001/02	15.180.1002	m ²	9165,17	50
30	ÖZEL.29	10.240.6735	m ²	70,5	50	59	Y.21.050/C12	15.185.1006	m ³	19541,09	50
30	ÖZEL.29	10.170.2202	m ²	70,5	50	60	Y.21.051/C11	15.185.1013	m ²	3023,961	50
30	ÖZEL.29	15.360.1005	mt	281	50	61	Y.21.051/C13	15.185.1014	m ³	10723,45	50
30	ÖZEL.29	10.100.1062	sa	108	50	62	Y.21.101/01	15.300.1001	m ²	1250	50
30	ÖZEL.29	10.420.1014	kutu	2,12	50	63	Y.22.009/03	15.510.1103	m ²	134,2	35
32	Y.15.006/1A	15.120.1002	m ³	1174,125	50	64	Y.23.010	15.160.1001	ton	0,225	50
33	Y.15.006/2B	15.120.1102	m ³	3938,8	50	65	Y.23.014	15.160.1003	ton	77,133	50
34	Y.15.140/04	15.125.1004	m ³	1764,16	50	66	Y.23.015	15.160.1004	ton	148,696	50
35	Y.15.140/06	15.125.1006	m ³	230,52	50	67	Y.23.152	15.550.1001	kg	3379,154	50
36	Y.16.050/11	15.150.1001	m ³	178,388	50	68	Y.23.155	15.550.1003	kg	1810,712	50
37	Y.16.050/12	15.150.1002	m ³	119,223	50	69	Y.23.176	15.550.1202	kg	522,8	50
38	Y.16.050/13	15.150.1003	m ³	87,5	50	70	Y.24.065	15.315.1101	mt	219,2	30
39	Y.16.050/14	15.150.1004	m ³	178,816	50	71	Y.25.002/02	15.540.1112	m ²	240,104	8
40	Y.16.050/15	15.150.1005	m ³	8,988	50	72	Y.25.003/15	15.540.1255	m ²	235,4	5
41	Y.16.050/17	15.150.1007	m ³	2201,53	50	73	Y.25.003/16	15.540.1256	m ²	7437,169	5
42	Y.17.136	15.210.1004	m ³	63,458	50	74	Y.25.004/05	15.540.1325	m ²	1532,775	5
43	Y.18.110/01C04	15.225.1004	m ²	45,54	50	75	Y.26.008/408A	15.390.1028	m ²	152,82	30
44	Y.18.110/01C10	15.225.1010	m ²	2365,185	50	76	Y.26.008/410B	15.390.1070	m ²	683,1	30
45	Y.18.110/01C12	15.225.1012	m ²	1274,475	50	77	Y.26.015/005	15.400.1005	m ²	65,05	40
46	Y.18.110/03D10	15.225.1410	m ²	27,33	50	78	Y.26.017/102	15.435.1206	mt	199,06	30
47	Y.18.110/03D12	15.225.1412	m ²	85,005	50	79	Y.26.020/012A	15.410.1103	m ²	69,405	50

Çizelge E.1 (devam) : Derslik binası metraj listesi ve pozları.

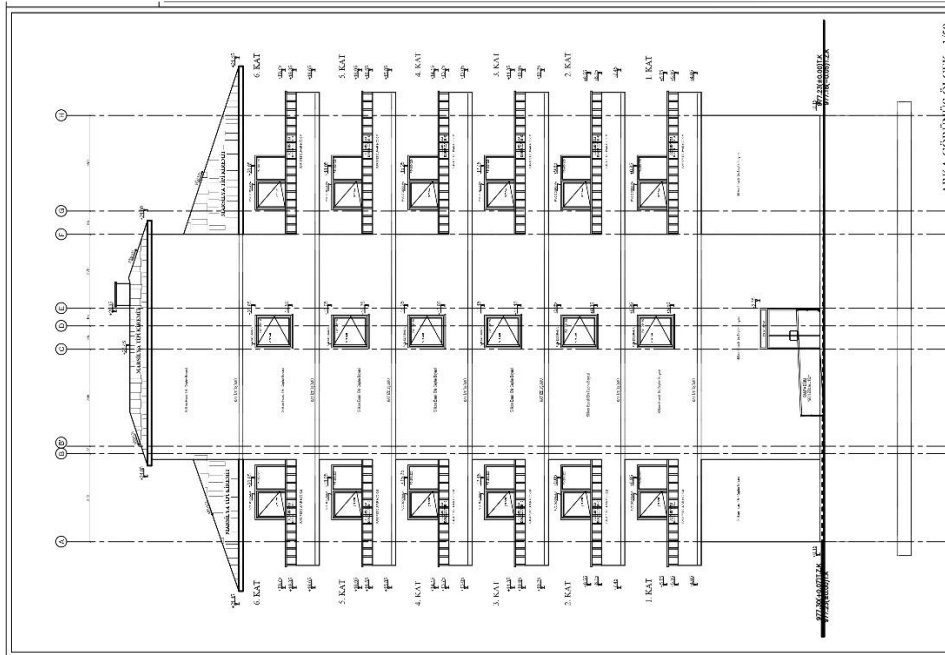
Sıra No	Poz No	Güncel poz no	Birimi	Miktarı	Faydalı Ömür	Sıra No	Poz No	Güncel poz no	Birimi	Miktarı	Faydalı Ömür
48	Y.18.245/003	15.330.1003	m ²	1375	30	80	Y.26.020/032A	15.410.1303	mt	496,4	50
49	Y.18.350/001	15.440.1001	mt	80,55	50	81	Y.26.020/042A	15.410.1403	m ²	36,954	50
50	Y.18.350/004	15.440.1004	mt	33,75	50	82	Y.26.020/052A	15.410.1503	m ²	30,795	50
51	Y.18.460/24	15.205.1004	mt	265,52	100	83	Y.26.020/062A	15.410.1603	m ²	6,65	50
89	Y.27.501/08	15.275.1105	m ²	1706,92	50	84	Y.26.020/072A	15.410.1703	m ²	18,24	50
90	Y.27.504/01	15.275.9991	m ²	54,92	50	85	Y.26.020/305A	15.420.1001	m ²	10,05	50
91	Y.27.581	15.250.1001	m ²	3467,85	50	86	Y.27.501/01	15.275.1101	m ²	818,675	50
92	Y.28.645/C02	15.470.1010	m ²	21,44	30	87	Y.27.501/02	15.275.1102	m ²	212,9	50
93	Y.28.645/C47	15.470.1419	m ²	453,36	30						

EK F: Konut Yapısı Proje Detayları.

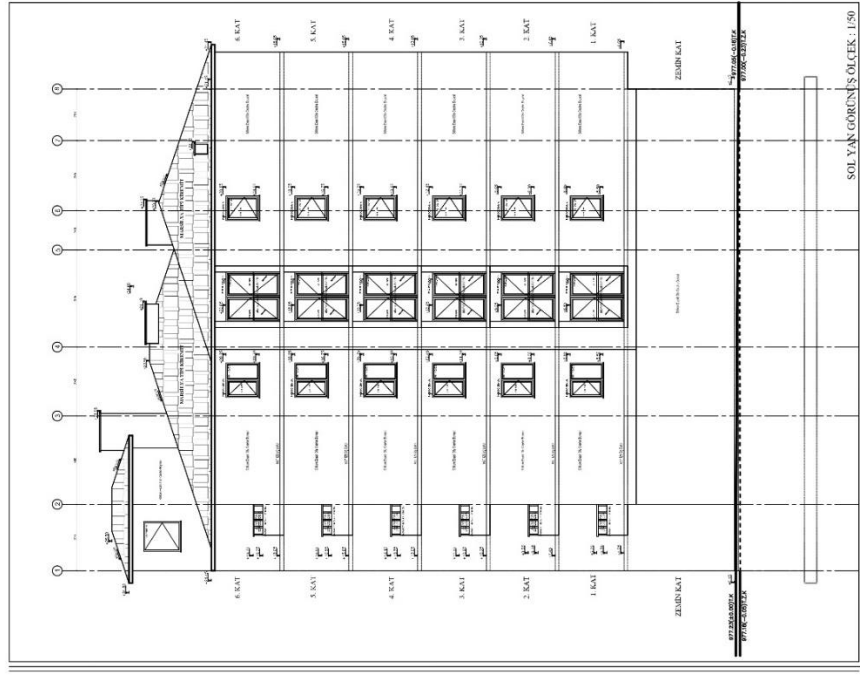
Konut yapısı, 2800 m² toplam inşaat alanına sahiptir. Şekil F.1-9’ da sunulan proje detayları yapıyı temsil etmektedir.



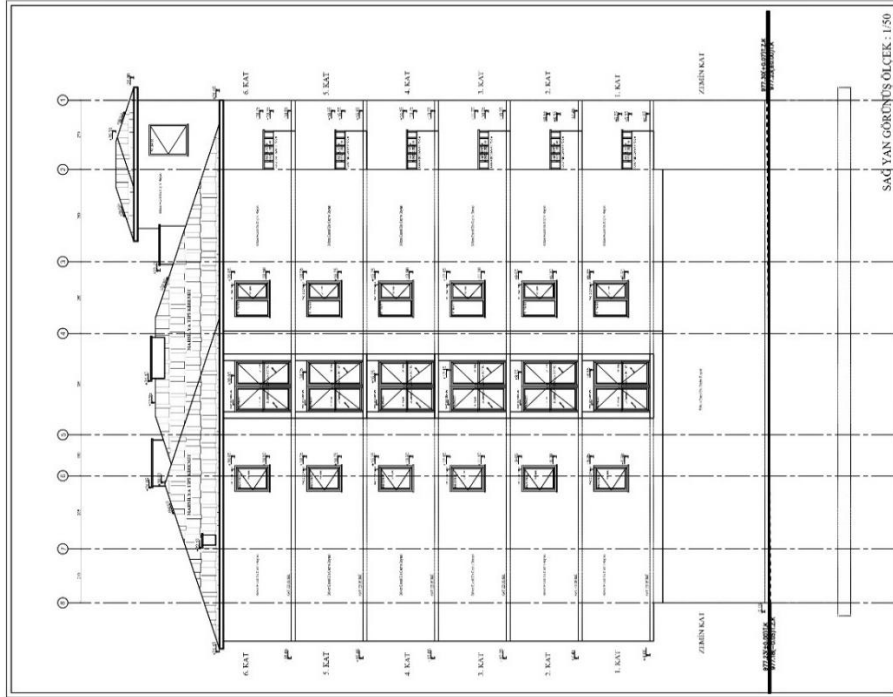
Şekil F.1 : Konut yapısı ön görünüşü.



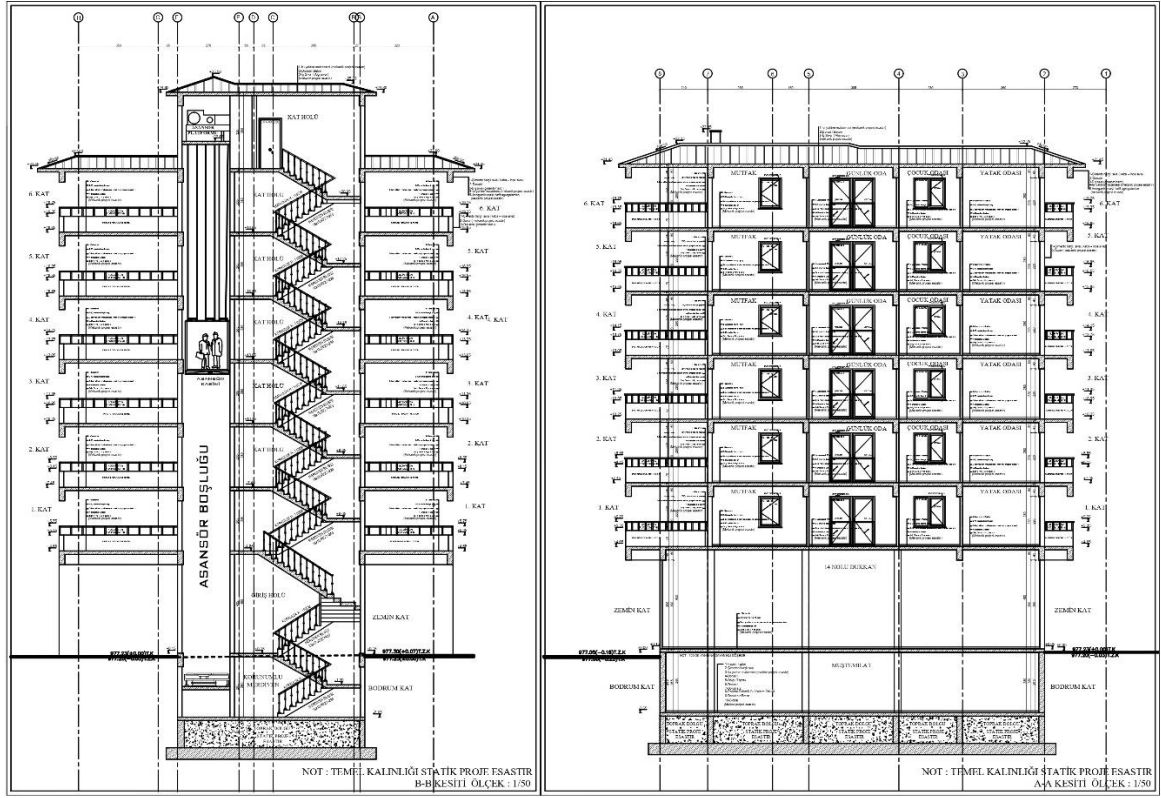
Şekil F.2 : Konut yapısı arka görünüşü.



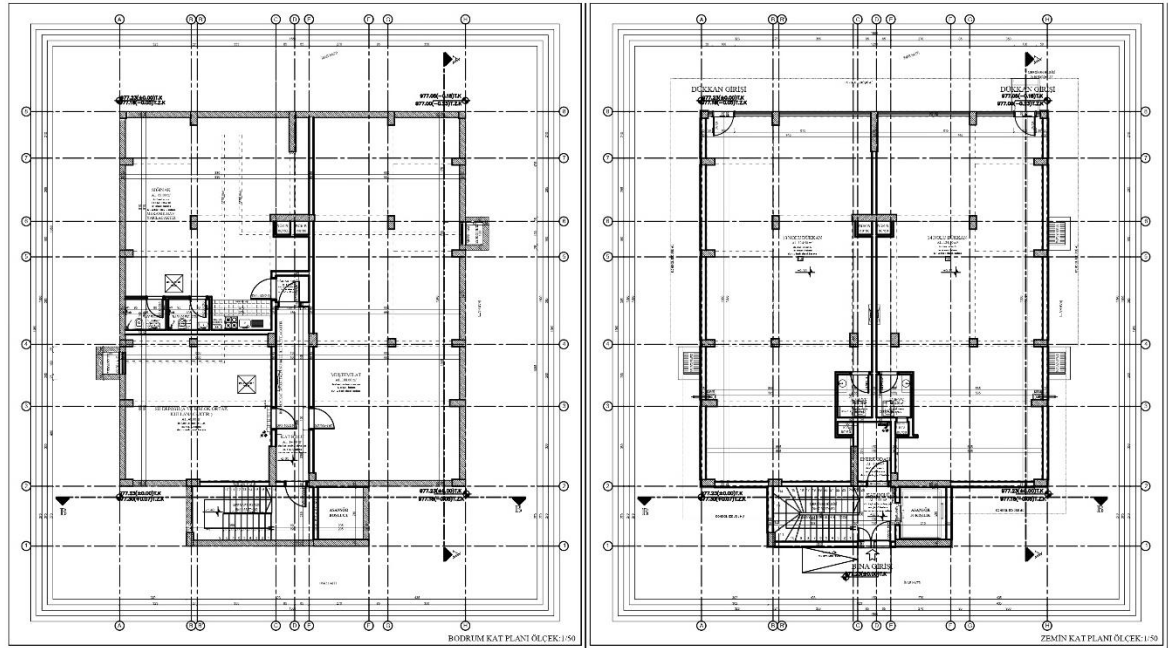
Şekil F.3 : Konut yapısı sol yan görünüşü.



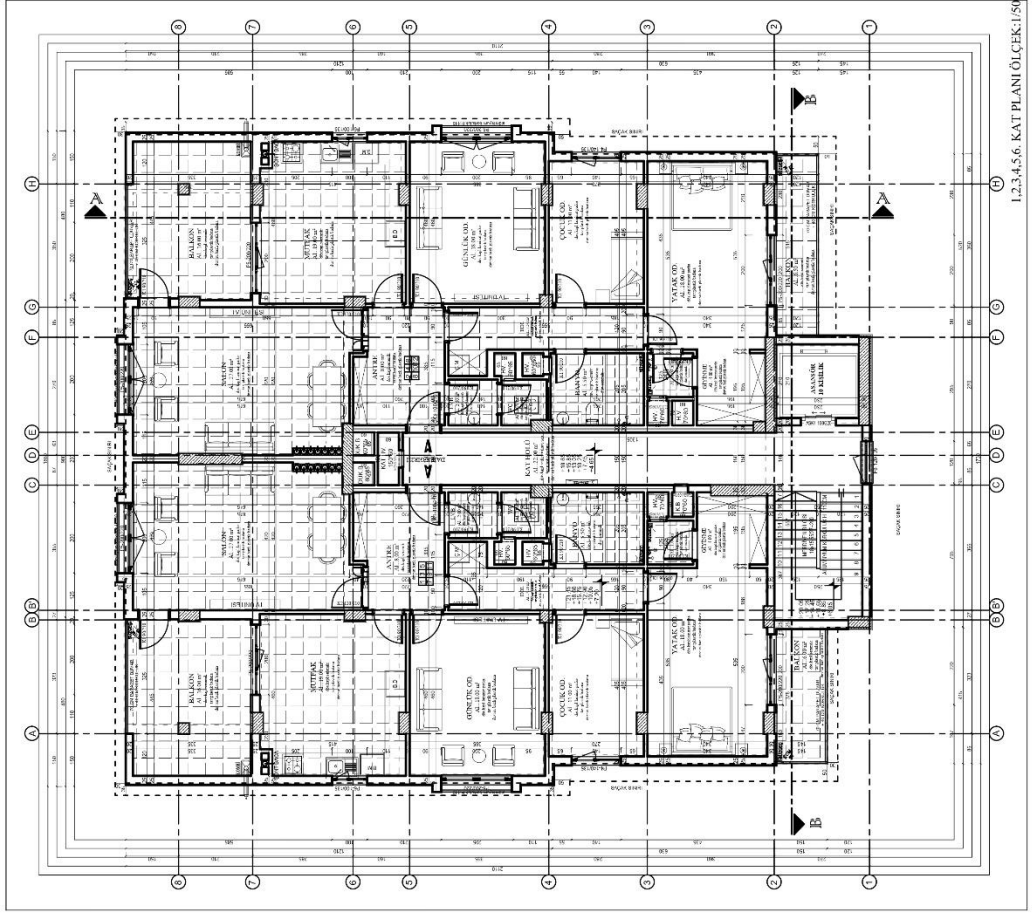
Şekil F.4 : Konut yapısı sağ yan görünüşü.



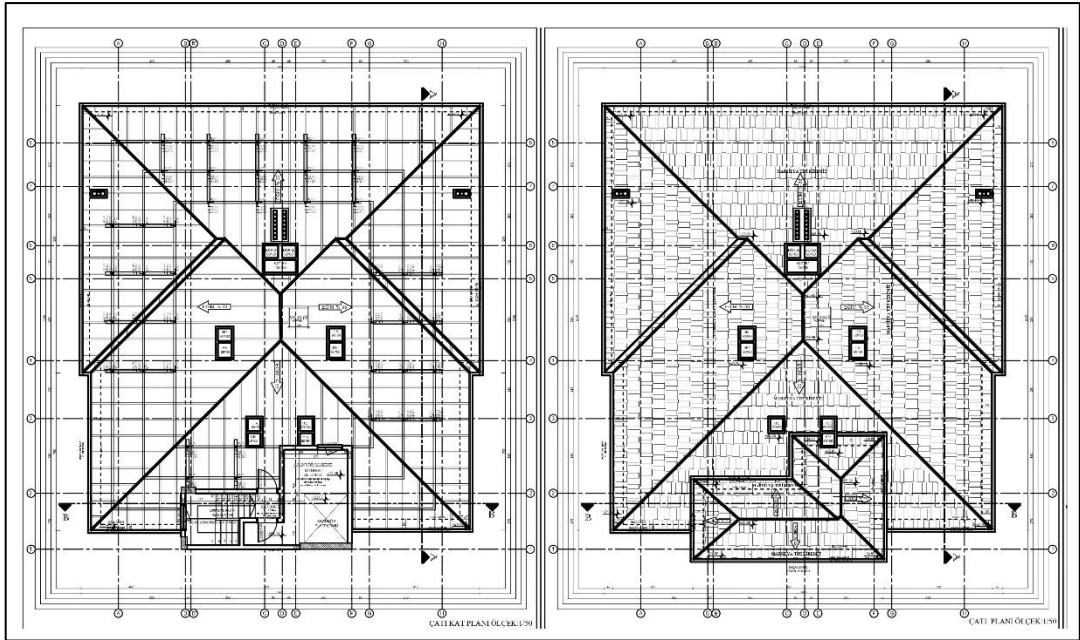
Şekil F.5 : Konut yapısı kesit planı.



Şekil F.6 : Konut yapısı bodrum ve zemin planı.



Şekil F.7 : Konut yapısı normal kat planı.



Şekil F.8 : Konut yapısı çatı planı.

KATLAR ARASI DÖŞEME DETAYI			
2-3-4-5	Seramik kaplama (15.375.1052) Tesviye tabakası (15.250.1001) Isı yalıtımı (15.341.2022) Betonarme döşeme Alçı Tavan sıvası (15.535.1030) Saten Alçı (15.280.1011) Boya (15.5401.216)	Laminat parke (15.490.1002) Tesviye tabakası (15.250.1001) Isı yalıtımı (15.341.2022) Betonarme döşeme Alçı Tavan sıvası (15.535.1030) Saten Alçı (15.280.1011) Boya (15.5401.216)	ÇATI DÖŞEMESİ DETAYI 15.305.1003 Kiremit Çatı Kaplaması 15.330.1007 Su Yalıtımı 15.300.1001 Alşıpın örtürme çatı yapılması 15.340.1403 10 cm Çamyünlü Isı Yalıtımı Yapılması ve Üzerine Su Buharı Geçişine Açık Örtü Serilmesi Betonarme döşeme Alçı Tavan sıvası (15.535.1030) Saten Alçı (15.280.1011) Boya (15.5401.216)
1 KAT	Seramik kaplama (15.375.1052) Tesviye tabakası (15.250.1001) Isı yalıtımı (15.341.2022) Betonarme döşeme Tavan sıvası (15.275.1103) Asma tavan (15.535.1027)	Laminat parke (15.490.1002) Tesviye tabakası (15.250.1001) Isı yalıtımı (15.341.2022) Betonarme döşeme Tavan sıvası (15.275.1103) Asma tavan (15.535.1027)	15.305.1003 Kiremit Çatı Kaplaması 15.330.1007 Su Yalıtımı 15.300.1001 Alşıpın örtürme çatı yapılması 15.340.1403 10 cm Çamyünlü Isı Yalıtımı Yapılması ve Üzerine Su Buharı Geçişine Açık Örtü Serilmesi Betonarme döşeme Tavan sıvası (15.275.1103) Asma tavan (15.535.1027)
ZEMİN KAT	Seramik kaplama (15.375.1052) Tesviye tabakası (15.250.1001) Isı yalıtımı (15.341.2022) Betonarme döşeme Tavan sıvası (15.275.1103)		
TEMEL - BODRUM ARASI MALZEME AÇILI MI Sertleştirilmiş Şap (15.190.1002) Isı yalıtımı (15.341.2022) Betonarme döşeme STABİLİZE DOLGU RADYATÖR 15.150.1001 C 8/20 Koruma Beton (5 cm) 15.245.1002 250 gr geotekstil keçe 15.341.2022 5 cm xps leha ile zeminde ısı yalıtımı yapılması 15.255.1006 3 mm kalınlığında iki kat su yalıtımı yapılması 15.150.1003 C 16/20 Grobeton (10 cm) 15.210.1004 Ocak Taşı İle Blokaj (15 cm) SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK			
DUVAR DETAYI Y.25.004/05(15.540.1305) Grenli/İkstrürlü Dış Cephe Boyası 15.341.3002 6 cm Tağıyünlü Mantolama Yapılması 15.275.1101 Dış Cephe Sıva Yapılması 15.225.1012 25 cm Duvar Yapılması 15.280.1001 Alçı Sıva Yapılması 15.280.1011 Saten Alçı Yapılması 15.540.1256 Boya Yapılması NORMAL KAT BODRUM KAT 15.540.1216 PLASTİK BOYA 15.275.1102 KABA-İNCE SIVA B.A. PERDE DV. (Bkz. STATİK PRJ) 15.255.1006 SU YALITIMI 15.245.1002 GEOTEKSTİL KEÇE 15.335.1303 XPS ISI YALITIMI 5 cm 15.245.1002 8.5cm TUĞLA DUVAR DOLGU (Bkz. STATİK PRJ)			

Şekil F.9 : Konut yapısı malzeme açılımı.

EK G: Konut Yapısı Çevresel Etki ve Maliyet Kriterleri Analiz Sonuçları.

* Yapı Malzemeleri için ‘Üretim ve Kurulum’ (A1-2-3-5 aşamaları) ve ‘Üretim, Kurulum ve Kullanım’ (A1-2-3-5 ve B3-4-5 aşamaları) YDA Sonuçları

*Sıra No: Yapının metraj bilgisinden bu numaraya denk gelen poz numarası ile malzemenin adına erişilebilmektedir.

Çizelge G.1 : Konut binası temel çevresel etki kategorisi sonuçları (‘Üretim ve Kurulum’ yaşam dönemi).

Sıra no	Poz	Maliyet (\$)	Maliyet etki yüzdesi	GWP (kgCO ₂ eşd.)	GWP etki yüzdesi	ODP (kgCFC11 eşd.)	ODP etki yüzdesi	AP (mol H+ eşd.)	AP etki yüzdesi	EP- Freshwater (kgP eşd.)	EP etki yüzdesi	POCP (kgNMVOC eşd.)	POCP etki yüzdesi	ADPE (Kgsb eşd.)	ADPE etki yüzdesi	ADPF (Mti)	ADPF etki yüzdesi
1	152751102	2,84E+03	0,64%	4,73E+03	0,73%	9,79E-05	0,23%	9,65E+00	0,40%	5,87E-01	0,46%	5,62E+00	0,68%	4,19E-03	0,08%	2,68E+04	0,44%
2	152751105	6,21E+03	1,41%	8,53E+03	1,32%	2,77E-04	0,65%	2,32E+01	0,96%	1,35E-00	1,06%	1,62E+01	1,97%	1,23E-02	0,25%	3,71E+04	0,61%
3	191002423	3,33E+03	0,75%	3,53E+04	5,46%	5,60E-04	1,31%	6,23E+01	2,58%	3,91E+00	3,07%	3,16E+01	3,84%	2,31E-02	0,47%	2,20E+05	3,61%
4	191002433	1,21E+03	0,27%	2,41E+03	0,37%	3,13E-04	0,73%	1,15E+01	0,48%	5,82E-01	0,46%	7,76E+00	0,94%	8,70E-02	1,75%	3,58E+04	0,59%
5	152801011	8,78E+03	1,99%	1,27E+04	1,97%	8,12E-04	1,90%	1,13E+02	4,69%	3,80E+00	2,98%	1,48E+01	1,80%	2,51E-02	0,50%	6,82E+05	11,20%
6	152751103	4,18E+03	0,94%	5,02E+03	0,78%	1,39E-04	0,32%	1,23E+01	0,51%	7,26E-01	0,57%	8,07E+00	0,98%	6,09E-03	0,12%	2,46E+04	0,40%
7	152801012	8,15E+03	1,84%	2,31E+03	0,36%	2,92E-04	0,68%	1,28E+01	0,53%	5,66E-01	0,44%	7,60E+00	0,93%	1,11E-01	2,23%	3,22E+04	0,53%
8	155351027	7,92E+03	1,79%	1,68E+04	2,60%	1,01E-03	2,36%	1,30E+02	5,41%	6,11E+00	4,80%	4,21E+01	5,13%	2,10E-01	4,22%	1,70E+05	2,78%
9	155401256	5,25E+03	1,19%	8,48E+02	0,13%	8,17E-05	0,19%	4,81E+00	0,20%	2,66E-01	0,21%	2,98E+00	0,36%	9,77E-03	0,20%	1,38E+04	0,23%
10	155401256	1,17E+04	2,66%	1,90E+03	0,29%	1,83E-04	0,43%	1,08E+01	0,45%	5,96E-01	0,47%	6,66E+00	0,81%	2,19E-02	0,44%	3,09E+04	0,51%
11	153801056	9,49E+03	2,15%	1,41E+04	2,19%	1,98E-03	4,62%	3,66E+01	1,52%	2,26E+00	1,77%	2,33E+01	2,83%	1,18E-01	2,36%	2,26E+05	3,70%
12	153751052	8,02E+03	1,81%	1,10E+04	1,71%	1,40E-03	3,27%	2,37E+01	0,98%	2,25E+00	1,76%	1,96E+01	2,38%	1,60E-02	0,32%	1,65E+05	2,71%
13	154901002	8,29E+03	1,88%	4,21E+03	0,65%	6,49E-04	1,52%	2,57E+01	1,07%	2,85E-01	0,22%	1,73E+01	2,10%	2,04E-02	0,41%	8,00E+04	1,31%
14	151901002	7,37E+02	0,17%	5,48E+02	0,08%	3,45E-05	0,08%	1,65E+00	0,07%	7,97E-03	0,01%	1,29E+00	0,16%	1,15E-04	0,00%	3,67E+03	0,06%
15	152501001	4,85E+03	1,10%	9,40E+03	1,45%	3,11E-04	0,73%	2,60E+01	1,08%	1,57E+00	1,23%	1,77E+01	2,16%	1,35E-02	0,27%	4,14E+04	0,68%
16	152501101	6,96E+02	0,16%	1,37E+03	0,21%	4,84E-05	0,11%	3,92E+00	0,16%	2,22E-01	0,17%	2,71E+00	0,33%	2,49E-03	0,05%	6,48E+03	0,11%
17	152601002	9,80E+02	0,22%	4,55E+02	0,07%	2,36E-05	0,06%	1,49E+00	0,06%	1,39E-01	0,11%	1,31E+00	0,16%	1,33E+00	26,74%	8,77E+03	0,14%
18	153351601	5,66E+03	1,28%	8,17E+03	1,26%	1,52E-04	0,36%	3,27E+01	1,36%	1,03E+00	0,81%	2,23E+01	2,71%	2,12E-02	0,43%	1,78E+05	2,92%
19	152751101	9,92E+03	2,24%	1,19E+04	1,84%	3,89E-04	0,91%	3,26E+01	1,35%	1,92E+00	1,51%	2,26E+01	2,75%	1,72E-02	0,35%	5,20E+04	0,85%
20	153401004	6,13E+03	1,39%	5,17E+03	0,80%	9,28E-05	0,22%	4,53E+01	1,88%	2,42E-01	0,19%	1,39E+01	1,69%	1,08E-01	2,18%	7,14E+04	1,17%
21	155401325	8,00E+03	1,81%	1,81E+03	0,28%	1,68E-04	0,39%	1,11E+01	0,46%	5,31E-01	0,42%	6,38E+00	0,78%	3,21E-02	0,65%	2,88E+04	0,47%
22	153301007	2,33E+03	0,53%	5,49E+02	0,08%	1,31E-04	0,31%	2,66E+00	0,11%	1,47E-01	0,12%	1,27E+01	1,55%	1,04E-02	0,21%	1,51E+04	0,25%
23	153401403	1,38E+03	0,31%	2,01E+03	0,31%	8,42E-05	0,20%	1,13E+01	0,47%	5,21E-01	0,41%	4,63E+00	0,56%	1,43E-03	0,03%	7,58E+04	1,24%
24	153001001	9,39E+03	2,12%	5,55E+03	0,86%	7,32E-04	1,71%	4,78E+01	1,98%	1,73E+00	1,35%	2,42E+01	2,95%	1,78E-01	3,59%	1,04E+05	1,70%
25	153051003	6,30E+03	1,42%	6,16E+03	0,95%	1,63E-04	0,38%	2,04E+01	0,85%	6,48E-01	0,51%	6,57E+00	0,80%	2,96E-02	0,60%	9,99E+04	1,64%
26	154101104	7,55E+02	0,17%	1,14E+03	0,18%	1,06E-04	0,25%	6,92E+00	0,29%	1,83E-01	0,14%	5,07E+00	0,62%	5,99E-03	0,12%	1,20E+04	0,20%
27	154101304	1,29E+03	0,29%	1,50E+03	0,23%	1,50E-04	0,35%	9,71E+00	0,40%	2,40E-01	0,19%	7,12E+00	0,87%	8,21E-03	0,17%	1,70E+04	0,28%
28	771351006	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%
29	771351005	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%
30	154101403	1,59E+03	0,36%	1,92E+03	0,30%	1,70E-04	0,40%	1,12E+01	0,46%	3,06E-01	0,24%	8,18E+00	1,00%	9,03E-03	0,18%	1,91E+04	0,31%
31	152251004	1,01E+04	2,28%	2,40E+04	3,71%	1,01E-03	2,37%	7,10E+01	2,95%	5,07E+00	3,97%	6,36E+00	0,77%	1,21E-02	0,24%	1,60E+05	2,62%

Çizelge G.1 (devam) : Konut binası temel çevresel etki kategorisi sonuçları (‘Üretim ve Kurulum’ yaşam dönmeli).

Sıra no	Poz	Maliyet (\$)	Maliyet etki yüzdesi	GWP (kgCO ₂ eşd.)	GWP etki yüzdesi	ODP (kgCFC11 eşd.)	ODP etki yüzdesi	AP (mol H+ eşd.)	AP etki yüzdesi	EP- Freshwater (kgP eşd.)	EP etki yüzdesi	POCP (kgNMVOC eşd.)	POCP etki yüzdesi	ADPE (kgSb eşd.)	ADPE etki yüzdesi	ADPF (Ml)	ADPF etki yüzdesi
32	152251010	9,57E+03	2,17%	2,75E+04	4,26%	1,16E-03	2,72%	8,15E+01	3,38%	5,81E+00	4,56%	7,30E+00	0,89%	1,38E-02	0,28%	1,84E+05	3,01%
33	152251012	1,60E+04	3,62%	4,82E+04	7,46%	2,03E-03	4,76%	1,43E+02	5,92%	1,02E+01	7,99%	1,28E+01	1,56%	2,42E-02	0,49%	3,22E+05	5,28%
34	151601003	5,59E+04	12,64%	3,42E+04	5,29%	1,83E-03	4,27%	1,87E+02	7,74%	1,73E+00	1,36%	1,05E+02	12,76%	5,09E-02	1,02%	3,25E+05	5,34%
35	151601004	2,57E+04	5,82%	1,61E+04	2,49%	8,58E-04	2,01%	8,77E+01	3,64%	8,13E-01	0,64%	4,92E+01	5,99%	2,39E-02	0,48%	1,53E+05	2,51%
36	151501006	5,12E+04	11,58%	2,58E+05	39,98%	1,19E-02	27,77%	6,77E+02	28,08%	5,22E+01	40,95%	6,81E+01	8,29%	2,18E-01	4,40%	1,47E+06	24,14%
37	151801003	5,95E+04	13,46%	1,90E+03	0,29%	9,89E-05	0,23%	5,60E+01	2,32%	1,06E+00	0,83%	6,18E+00	0,75%	8,46E-01	17,03%	8,45E+04	1,39%
38	151201101	2,37E+03	0,54%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%
39	152101004	8,37E+02	0,19%	8,99E+01	0,01%	8,21E-06	0,02%	5,02E-01	0,02%	4,28E-02	0,03%	2,06E-02	0,00%	3,11E-04	0,01%	7,73E+02	0,01%
40	151501002	1,82E+03	0,41%	2,07E-04	0,00%	2,07E-04	0,48%	1,24E+01	0,51%	1,06E+00	0,83%	1,05E+01	1,28%	4,61E-03	0,09%	2,05E+04	0,34%
41	152551006	5,80E+03	1,31%	1,54E+03	0,24%	3,88E-04	0,91%	7,24E+00	0,30%	4,22E-01	0,33%	3,76E+01	4,58%	1,24E-02	0,25%	5,04E+04	0,83%
42	153351601	9,01E+02	0,20%	1,30E+03	0,20%	2,42E-05	0,06%	5,21E+00	0,22%	1,64E-01	0,13%	3,55E+00	0,43%	3,38E-03	0,07%	2,84E+04	0,47%
43	153351303	1,50E+03	0,34%	1,94E+03	0,30%	3,52E-05	0,08%	7,97E+00	0,33%	2,43E-01	0,19%	5,19E+00	0,63%	1,31E-02	0,26%	4,17E+04	0,68%
44	152451002	3,75E+02	0,08%	3,82E+02	0,06%	2,35E-05	0,06%	1,15E+00	0,05%	3,94E-02	0,03%	5,80E-01	0,07%	1,91E-04	0,00%	5,97E+03	0,10%
45	151501001	8,58E+02	0,19%	1,04E-04	0,00%	1,04E-04	0,24%	6,19E+00	0,26%	5,30E-01	0,42%	5,27E+00	0,64%	2,30E-03	0,05%	1,03E+04	0,17%
46	152201001	4,55E+03	1,03%	9,41E+03	1,46%	4,61E-05	0,11%	1,83E+01	0,76%	6,36E-01	0,50%	3,87E+00	0,47%	2,39E-03	0,05%	7,63E+04	1,25%
47	154701419	1,31E+04	2,97%	7,70E+03	1,19%	7,00E-04	1,64%	2,45E+01	1,01%	1,69E+00	1,33%	1,32E+01	1,61%	2,29E-02	0,46%	9,59E+04	1,57%
48	15451001	1,27E+04	2,88%	1,54E+04	2,38%	6,74E-03	15,78%	1,19E+02	4,93%	5,41E+00	4,24%	5,19E+01	6,31%	4,87E-01	9,80%	2,91E+05	4,77%
49	154601001	8,04E+03	1,82%	1,56E+04	2,42%	1,93E-03	4,51%	1,19E+02	4,95%	6,00E+00	4,71%	5,01E+01	6,10%	7,15E-01	14,39%	1,64E+05	2,69%
50	155101103	1,18E+04	2,68%	3,42E+03	0,53%	2,89E-03	6,76%	3,07E+01	1,27%	1,09E+00	0,85%	1,66E+01	2,02%	5,07E-02	1,02%	9,88E+04	1,62%
51	155101001	3,90E+03	0,88%	1,68E+03	0,26%	2,41E-04	0,56%	1,45E+01	0,60%	5,53E-01	0,43%	7,91E+00	0,96%	3,43E-02	0,69%	3,26E+04	0,53%
Toplam		442088,5		646514,2		0,042733		2410,415		127,4494		821,3831		4,969395		6091977	

Çizelge G.2 : Konut binası temel çevresel etki kategorisi sonuçları (‘Üretim, Kurulum ve Kullanım’ yaşam dönmeli).

Sıra No/ Kategori	Poz No	Maliyet (\$)	Maliyet etki yüzdesi	GWP (kgCO ₂ eşd.)	GWP etki yüzdesi	ODP (kgCFC11 eşd.)	ODP etki yüzdesi	AP (mol H+ eşd.)	AP etki yüzdesi	EP- Freshwater (kgP eşd.)	EP etki yüzdesi	POCP (kgNMVOC eşd.)	POCP etki yüzdesi	ADPE (kgSb eşd.)	ADPE etki yüzdesi	ADPF (Ml)	ADPF etki yüzdesi
1	152751102	2,84E+03	0,38%	4,73E+03	0,62%	9,79E-05	0,17%	9,65E+00	0,33%	5,87E-01	0,38%	5,62E+00	0,49%	4,19E-03	0,06%	2,68E+04	0,34%
2	152751105	6,21E+03	0,83%	8,53E+03	1,13%	2,77E-04	0,49%	2,32E+01	0,78%	1,35E+00	0,87%	1,62E+01	1,42%	1,23E-02	0,19%	3,71E+04	0,47%
3	191002423	3,33E+03	0,45%	3,53E+04	4,66%	5,60E-04	0,99%	6,23E+01	2,10%	3,91E+00	2,51%	3,16E+01	2,77%	2,31E-02	0,35%	2,20E+05	2,81%
4	191002433	1,21E+03	0,16%	2,41E+03	0,32%	3,13E-04	0,55%	1,15E+02	0,39%	5,82E-01	0,37%	7,76E+00	0,68%	8,70E-02	1,32%	3,58E+04	0,46%
5	152801011	8,78E+03	1,18%	1,27E+04	1,68%	8,12E-04	1,43%	1,13E+02	3,81%	3,80E+00	2,44%	1,48E+01	1,30%	2,51E-02	0,38%	6,82E+05	8,72%
6	152751103	4,18E+03	0,56%	5,02E+03	0,66%	1,39E-04	0,24%	1,23E+01	0,41%	7,26E-01	0,47%	8,07E+00	0,71%	6,09E-03	0,09%	2,46E+04	0,31%
7	152801012	8,15E+03	1,09%	2,31E+03	0,30%	2,92E-04	0,51%	1,28E+01	0,43%	5,66E-01	0,36%	7,60E+00	0,67%	1,11E-01	1,68%	3,22E+04	0,41%
8	155351027	7,92E+03	1,06%	1,68E+04	2,22%	1,01E-03	1,77%	1,30E+02	4,39%	6,11E+00	3,93%	4,21E+01	3,70%	2,10E-01	3,18%	1,70E+05	2,17%
9	155401256	5,25E+04	7,05%	8,48E+03	1,12%	8,17E-04	1,44%	1,40E+02	1,62%	2,66E+00	1,71%	2,98E+01	2,61%	9,77E-02	1,48%	1,38E+05	1,76%
10	155401256	1,17E+05	15,77%	1,90E+04	2,50%	1,83E-03	3,22%	1,08E+02	3,63%	5,96E+00	3,83%	6,66E+01	5,85%	2,19E-01	3,32%	3,09E+05	3,94%
11	153801056	1,90E+04	2,55%	2,83E+04	3,73%	3,95E-03	6,95%	7,32E+01	2,46%	4,52E+00	2,91%	4,66E+01	4,09%	2,35E-01	3,57%	4,51E+05	5,76%
12	153751052	1,60E+04	2,15%	2,21E+04	2,91%	2,80E-03	4,92%	4,73E+01	1,59%	4,49E+00	2,89%	3,91E+01	3,44%	3,20E-02	0,49%	3,30E+05	4,22%

Çizelge G.2 (devam) : Konut binası temel çevresel etki kategorisi sonuçları (‘Üretim, Kurulum ve Kullanım’ yaşam dönemi).

Sıra No/ Kategori	Poz No	Maliyet (\$)	Maliyet etki yüzdesi	GWP (kgCO ₂ eşd.)	GWP etki yüzdesi	ODP (kgCFC11 eşd.)	ODP etki yüzdesi	AP (mol H+ eşd.)	AP etki yüzdesi	EP- Freshwater (kgP eşd.)	EP etki yüzdesi	POCP (kgMMVOC eşd.)	POCP etki yüzdesi	ADPE (kgSb eşd.)	ADPE etki yüzdesi	ADPF (Ml)	ADPF etki yüzdesi
13	154901002	1,66E+04	2,23%	8,42E+03	1,11%	1,30E-03	2,28%	5,14E+01	1,73%	5,71E-01	0,37%	3,45E+01	3,03%	4,08E-02	0,62%	1,60E+05	2,04%
14	151901002	7,37E+02	0,10%	5,48E+02	0,07%	3,45E-05	0,06%	1,65E+00	0,06%	7,97E-03	0,01%	1,29E+00	0,11%	1,15E-04	0,00%	3,67E+03	0,05%
15	152501001	4,85E+03	0,65%	9,40E+03	1,24%	3,11E-04	0,55%	2,60E+01	0,88%	1,57E+00	0,10%	1,77E+00	1,56%	1,35E-02	0,20%	4,14E+04	0,53%
16	152501101	6,96E+02	0,09%	1,37E+03	0,18%	4,84E-05	0,09%	3,92E+00	0,13%	2,22E-01	0,14%	2,71E+00	0,24%	2,49E-03	0,04%	6,48E+03	0,08%
17	152601002	9,80E+02	0,13%	4,55E+02	0,06%	2,36E-05	0,04%	1,49E+00	0,05%	1,39E-01	0,09%	1,31E+00	0,12%	1,32E+00	20,17%	8,77E+03	0,11%
18	153351601	5,66E+03	0,76%	8,17E+03	1,08%	1,52E-04	0,27%	3,27E+01	1,10%	1,03E+00	0,66%	2,23E+01	1,96%	1,21E+02	0,32%	1,78E+05	2,27%
19	152751101	9,92E+03	1,33%	1,19E+04	1,57%	3,89E-04	0,68%	3,26E+01	1,10%	1,92E+00	1,24%	2,26E+01	1,98%	1,72E-02	0,26%	5,20E+04	0,66%
20	153401004	6,13E+03	0,82%	5,17E+03	0,68%	9,28E-05	0,16%	4,53E+01	1,53%	2,42E-01	0,16%	1,39E+01	1,22%	1,08E-01	1,64%	7,14E+04	0,91%
21	155401325	8,00E+04	10,74%	1,81E+04	2,38%	1,68E-03	2,96%	1,11E+02	3,74%	5,31E+00	3,41%	6,38E+01	5,60%	3,21E-01	4,87%	2,88E+05	3,68%
22	153301007	4,67E+03	0,63%	1,10E+03	0,14%	2,62E-04	0,46%	5,33E+00	0,18%	2,95E-01	0,19%	2,54E+01	2,23%	2,09E-02	0,32%	3,02E+04	0,39%
23	153401403	1,38E+03	0,19%	2,01E+03	0,27%	8,42E-05	0,15%	1,13E+01	0,38%	5,21E-01	0,33%	4,63E+00	0,41%	1,43E-03	0,02%	7,58E+04	0,97%
24	153001001	9,39E+03	1,26%	5,55E+03	0,73%	7,32E-04	1,29%	4,78E+01	1,61%	1,94E+00	1,11%	2,42E+01	2,13%	1,78E-01	2,71%	1,04E+05	1,33%
25	153051003	1,89E+04	2,54%	1,85E+04	2,44%	4,88E-04	0,86%	6,12E+01	2,06%	1,94E+00	1,25%	1,97E+01	1,73%	8,88E-02	1,35%	3,00E+05	3,83%
26	154101104	7,55E+02	0,10%	1,14E+03	0,15%	1,06E-04	0,19%	6,92E+00	0,23%	1,83E-01	0,12%	5,07E+00	0,44%	5,95E-03	0,09%	1,20E+04	0,15%
27	154101304	1,29E+03	0,17%	1,50E+03	0,20%	1,50E-04	0,26%	9,71E+00	0,33%	2,40E-01	0,15%	7,12E+00	0,62%	8,21E-03	0,12%	1,70E+04	0,22%
28	771351006	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%
29	771351005	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%
30	154101403	1,59E+03	0,21%	1,92E+03	0,25%	1,70E-04	0,30%	1,12E+01	0,38%	3,06E-01	0,20%	8,18E+00	0,72%	9,03E-03	0,14%	1,91E+04	0,24%
31	152251004	1,01E+04	1,35%	2,40E+04	3,16%	1,01E-03	1,78%	7,10E+01	2,39%	5,07E+00	3,26%	6,36E+00	0,56%	1,21E-02	0,18%	1,60E+05	2,04%
32	152251010	9,57E+03	1,29%	2,75E+04	3,63%	1,16E-03	2,04%	8,15E+01	2,74%	5,81E+00	3,74%	7,30E+00	0,64%	1,38E-02	0,21%	1,84E+05	2,34%
33	152251012	1,60E+04	2,15%	4,82E+04	6,36%	2,03E-03	3,57%	1,43E+02	4,81%	1,02E+01	6,55%	1,28E+01	1,12%	2,42E-02	0,37%	3,22E+05	4,11%
34	151601003	5,59E+04	7,51%	3,42E+04	4,51%	1,83E-03	3,21%	1,87E+02	6,29%	1,73E+00	1,11%	1,05E+02	9,20%	5,09E-02	0,77%	3,25E+05	4,15%
35	151601004	2,57E+04	3,46%	1,61E+04	2,12%	8,58E-04	1,51%	8,77E+01	2,95%	8,13E-01	0,52%	4,92E+01	4,32%	2,39E-02	0,36%	1,53E+05	1,95%
36	151501006	5,12E+04	6,88%	2,58E+05	####	1,19E-02	20,87%	6,77E+02	22,80%	5,22E+01	33,55%	6,81E+01	5,98%	2,18E-01	3,31%	1,47E+06	18,78%
37	151801003	5,95E+04	7,99%	1,90E+03	0,25%	9,89E-05	0,17%	5,60E+01	1,89%	1,06E+00	0,68%	6,18E+00	0,54%	8,46E-01	12,84%	8,45E+04	1,08%
38	151201101	2,37E+03	0,32%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%	0,00E+00	0,00%
39	152101004	8,37E+02	0,11%	8,99E+01	0,01%	8,21E-06	0,01%	5,02E-01	0,02%	4,28E-02	0,03%	2,06E-02	0,00%	3,11E-04	0,00%	7,73E+02	0,01%
40	151501002	1,82E+03	0,24%	2,07E-04	0,00%	2,07E-04	0,36%	1,24E+01	0,42%	1,06E+00	0,68%	1,05E+01	0,92%	4,61E-03	0,07%	2,05E+04	0,26%
41	152551006	5,80E+03	0,78%	1,54E+03	0,20%	3,88E-04	0,68%	7,24E+00	0,24%	4,22E-01	0,27%	3,76E+01	3,30%	1,24E-02	0,19%	5,04E+04	0,64%
42	153351601	9,01E+02	0,12%	1,30E+03	0,17%	2,42E-05	0,04%	5,21E+00	0,18%	1,64E-01	0,11%	3,55E+00	0,31%	3,38E-03	0,05%	2,84E+04	0,36%
43	153351303	1,50E+03	0,20%	1,94E+03	0,26%	3,52E-05	0,06%	7,97E+00	0,27%	2,43E-01	0,16%	5,19E+00	0,46%	1,31E-02	0,20%	4,17E+04	0,53%
44	152451002	3,75E+02	0,05%	3,82E+02	0,05%	2,35E-05	0,04%	1,15E+00	0,04%	3,94E-02	0,03%	5,80E-01	0,05%	1,91E-04	0,00%	5,97E+03	0,08%
45	151501001	8,58E+02	0,12%	1,04E-04	0,00%	1,04E-04	0,18%	6,19E+00	0,21%	5,30E-01	0,34%	5,27E+00	0,46%	2,30E-03	0,03%	1,03E+04	0,13%
46	152201001	4,55E+03	0,61%	9,41E+03	1,24%	4,61E-05	0,08%	1,83E+01	0,62%	6,36E-01	0,41%	3,87E+00	0,34%	2,39E-03	0,04%	7,63E+04	0,97%
47	154701419	2,63E+04	3,53%	1,54E+04	2,03%	1,40E-03	2,46%	4,89E+01	1,65%	3,38E+00	2,17%	2,65E+01	2,32%	4,58E-02	0,69%	1,92E+05	2,45%
48	154551001	1,27E+04	1,71%	1,54E+04	2,03%	6,74E-03	11,86%	1,19E+02	4,00%	5,41E+00	3,48%	5,19E+01	4,55%	4,87E-01	7,39%	2,91E+05	3,71%
49	154601001	1,61E+04	2,16%	3,13E+04	4,13%	3,85E-03	6,77%	2,38E+02	8,03%	1,20E+01	7,72%	1,00E+02	8,79%	1,43E+00	21,71%	3,28E+05	4,19%
50	155101103	2,37E+04	3,18%	6,84E+03	0,90%	5,78E-03	10,16%	6,13E+01	2,07%	2,17E+00	1,40%	3,32E+01	2,92%	1,01E-01	1,54%	1,98E+05	2,52%
51	155101001	7,81E+03	1,05%	3,35E+03	0,44%	4,82E-04	0,85%	2,90E+01	0,98%	1,11E+00	0,71%	1,58E+01	1,39%	6,86E-02	1,04%	6,51E+04	0,83%
Toplam		744631,45		758194,4		0,056866		2968,8367		155,56478		1139,319		6,589408		7830742	

EK H: Konut Yapısı Metraj Listesi ve Pozları.

*Poz numaralarının tanımlarına, maliyetine ve çevresel etkilerine erişim linki:

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/19-](https://docs.google.com/spreadsheets/d/19-C0i2nh_UN9ZZWR18rnYj_MgQtZCi55Zfz2QFYQmwc/edit?usp=sharing)

[C0i2nh_UN9ZZWR18rnYj_MgQtZCi55Zfz2QFYQmwc/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/19-C0i2nh_UN9ZZWR18rnYj_MgQtZCi55Zfz2QFYQmwc/edit?usp=sharing)

Çizelge H.1 : Konut yapısı metraj listesi ve pozları.

Sıra no	Poz	Birim	Miktar	Faydalı ömür	Sıra no	Poz	Birim	Miktar	Faydalı ömür
1	152751102	m ²	444,80	50	35	151601004	ton	22,34	50
2	152751105	m ²	1328,83	50	36	151501006	m ³	791,12	50
3	191002423	m ³	115,92	50	37	151801003	m ²	5730,06	50
4	191002433	m ³	50,40	50	38	151201101	m ³	1862,33	50
5	152801011	m ²	6804,80	50	39	152101004	m ³	48,33	50
6	152751103	m ²	634,35	50	40	151501002	m ³	32,22	50
7	152801012	m ²	1764,65	50	41	152551006	m ²	602,60	50
8	155351027	m ²	390,60	50	42	153351601	m ²	322,20	50
9	155401256	m ²	2251,89	5	43	153351303	m ²	280,40	50
10	155401256	m ²	5040,15	5	44	152451002	m ²	602,60	50
11	153801056	m ²	877,11	30	45	151501001	m ³	16,11	50
12	153751052	m ²	1000,60	30	46	152201001	m ²	602,60	50
13	154901002	m ²	936,00	35	47	154701419	m ²	311,83	30
14	151901002	m ²	378,80	50	48	154551001	kg	4474,40	50
15	152501001	m ²	1452,00	50	49	154601001	kg	1069,86	40
16	152501101	m ²	145,60	50	50	155101103	m ²	264,18	35
17	152601002	m ²	145,60	50	51	155101001	m ²	112,20	35
18	153351601	m ²	2021,80	50	29	771351005	m	91,83	50
19	152751101	m ²	1399,60	50	30	154101403	m ²	40,92	50
20	153401004	m ²	453,28	50	31	152251004	m ²	1131,94	50
21	155401325	m ²	1399,60	5	32	152251010	m ²	649,50	50
22	153301007	m ²	427,46	30	33	152251012	m ²	910,38	50
23	153401403	m ²	407,10	50	34	151601003	ton	48,44	50
24	153001001	m ²	407,10	50	27	154101304	m ²	79,31	50
25	153051003	m ²	427,46	20	28	771351006	m	91,83	50
26	154101104	m ²	25,93	50					

EK K: Derslik Yapısı Veri Analiz Tabloları.

*Veri Karşılaştırması için Derlenen Veriler

*Poz numaralarının tanımlarına, maliyetine ve çevresel etkilerine erişim linki:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/19-C0i2nh_UN9ZZWR18rnYj_MgQtCi55Zfz2QFYQmwc/edit?usp=sharing

Çizelge K.1 : Derslik binası malzeme rayiç pozları ve metrajları.

Poz No	Metraj	Birim	Poz No	Metraj	Birim	Poz No	Metraj	Birim	Poz No	Metraj	Birim	Poz No	Metraj	Birim	Poz No	Metraj	Birim
101301001	1764,16	m³	102003002	3396,18	m	102403608	3571,98	m²	103302502	273,70	m²	101302513	1312,71	m²	102401701	521,00	m²
101301002	230,52	m³	102003003	776,27	m	102403658	161,99	m²	103302503	2856,40	Kg	101302651	28,15	m²	102402603	418,03	Ad
101301005	306,41	m³	102003023	4251,00	Ad	102403660	724,09	m²	103302505	3570,50	Kg	101302653	87,56	m²	102402668	466,17	m²
101301007	45,00	m³	102003026	646,89	Ad	102404605	68,30	m²	103303101	3975,00	Kg	101302790	17637,27	Kg	102001254	1991,78	Kg
101301009	23,96	m³	102003028	1571,02	Ad	102405507	35671,56	Kg	103305171	6363,70	m²	101304502	179,36	m³	102001302	460,32	m²
101301203	82,42	Ton	102003030	3,14	Kt	102405508	5577,88	Kg	103305291	1106,73	Kg	101304504	4,16	m³	102001501	885,32	Kg
101301501	178,39	m³	102003031	1478,61	m	102405513	420,48	Kg	103305493	1581,25	m²	101306001	23,19	Ton	102001601	648,65	Kg
101301502	119,22	m³	102003032	739,30	m	102405633	970,34	m²	103305498	1512,50	m²	101309991	1866,60	m³	102002006	840,59	Kg
101301503	87,50	m³	102003052	6765,74	m	102406602	2506,90	m²	103306004	1547,34	m²	101601003	44,53	Kg	102002016	9701,90	Kg
101301504	178,82	m³	102003053	6350,90	m	102406607	136,84	m²	103306401	554,43	m²	101601024	553,36	Kg	102002401	969,63	m²
101301505	8,99	m³	102003055	1183,38	Ad	102406735	309,72	m²	103801512	22,51	m²	101601026	5174,04	Kg	102002701	84,58	m
101301507	2201,53	m³	102003056	3835,45	Ad	103001041	1120,20	lt	103801581	476,03	m²	101702002	322,08	m²	102002721	35,44	m
101301704	80989,65	Kg	102003057	5166,00	Ad	103001047	46,10	lt	103809981	5697,60	Ad	101702202	309,72	m²	102002791	80,55	m
101301705	159104,72	Kg	102003129	2517,84	Ad	103001053	1532,78	Kg	104001021	985,28	Kg	101702501	295,24	m²	102002801	6496,88	Kg
101301707	543,18	Kg	102003136	2517,84	Ad	103001171	537,08	lt	104001022	4433,76	Ad	102001002	2851,93	Kg	111111111	411,00	m2
101301708	1700,03	Kg	102003137	4088,86	Ad	103001172	170,14	lt	104002004	50,00	Ad	104201007	139,69	Kg	104201501	67,10	Ad
101301752	230,63	Kg	102003601	2304,58	Kg	103001175	43,70	lt	104002008	50,00	Ad	104201008	41,25	Kg	104201513	1379,39	m²
101302505	46,91	m²	102004024	236,25	Ad	103001183	293,80	Kg	104002010	183,00	Ad	104201012	10427,9	Ad	104501057	265,52	m
101302511	2436,14	m²	102004508	14840,57	Kg	103001601	6,51	Kg	104201006	1541,52	Kg	104201013	15,71	Kt	104801821	2,74	Kg

Çizelge K.2 : Derslik binası için derlenen EPD belgeleri ve EE-EC değerleri (uygulama referans birimine göre).

Poz no	Birim	Terz EPD (refr.birim)			Ek EPD1 (refr.birim)			Ek EPD2 (refr.birim)			Ek EPD3 (refr.birim)			Ek EPD4 (refr.birim)			Ek EPD5 (refr.birim)			Ek EPD6 (refr.birim)			Ek EPD7 (refr.birim)			Ek EPD8 (refr.birim)			Ek EPD9 (refr.birim)		
		EE	EC	EE	EE	EC	EE	EE	EC	EE	EE	EC	EE	EE	EC	EE	EE	EC	EE	EE	EC	EE	EE	EC	EE	EE	EC	EE	EE	EC	
101301001	m³	3,48E+01	2,75E+00	6,29E+01	4,59E+00	8,74E+01	3,03E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	
101301002	m³	3,48E+01	2,75E+00	6,29E+01	4,59E+00	8,74E+01	3,03E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	
101301005	m³	4,18E+01	3,29E+00	5,55E+01	4,05E+00	8,74E+01	3,03E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	
101301007	m³	4,18E+01	3,29E+00	5,55E+01	4,05E+00	8,74E+01	3,03E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	
101301009	m³	3,48E+01	2,75E+00	6,29E+01	4,59E+00	8,74E+01	3,03E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	8,31E+00	9,54E+01	
101301203	Ton	3,87E+03	9,08E+02	3,71E+03	7,70E+02	2,29E+03	6,98E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	8,59E+02	2,82E+03	
101301501	m³	6,37E+02	1,62E+02	7,93E+02	1,49E+02	1,22E+03	2,25E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	1,49E+02	7,93E+02	
101301502	m³	6,37E+02	1,62E+02	7,97E+02	1,87E+02	1,22E+03	2,25E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	
101301503	m³	5,61E+02	1,73E+02	1,30E+03	2,50E+02	1,04E+03	1,93E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	
101301504	m³	1,65E+03	2,80E+02	6,76E+02	3,01E+02	1,72E+03	2,92E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	
101301505	m³	1,72E+03	2,95E+02	7,05E+02	3,14E+02	1,18E+03	2,20E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	
101301507	m³	2,15E+03	3,80E+02	7,85E+02	3,48E+02	1,49E+03	2,97E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	1,74E+02	9,65E+02	
101301704	Kg	6,40E+00	6,73E-01	2,81E+01	2,07E+00	1,22E+01	7,79E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	
101301705	Kg	6,40E+00	6,73E-01	2,81E+01	2,07E+00	1,22E+01	7,79E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	5,27E-01	6,53E+00	
101301707	Kg	6,34E+00	6,66E-01	1,57E+00	2,09E-01	6,25E+00	5,11E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	5,96E-01	9,23E+00	
101301708	Kg	6,34E+00	6,66E-01	2,56E+01	2,28E+00	8,59E+00	6,35E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	7,14E-01	7,65E+00	
101301752	Kg	6,71E+00	7,02E-01	6,88E+00	3,91E-01	4,67E+01	3,87E+00	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	5,19E-01	8,25E+00	
101302505	m²	1,35E+02	2,02E+01	1,70E+02	2,11E+01	1,00E+02	1,50E+01	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	8,64E+00	2,57E+02	
101302511	m²	2,70E+02	4,05E+01	3,41E+02	4,22E+01	2,00E+02	3,00E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	9,42E+01	5,13E+02	
101302513	m²	3,37E+02	5,06E+01	4,26E+02	5,28E+01	2,51E+02	3,75E+01	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	1,18E+02	6,42E+02	
101302651	m²	3,55E+02	5,58E+01																												
101302653	m²	4,44E+02	6,98E+01																												
101302790	Kg	1,03E+00	1,54E-01	2,30E+00	4,08E-01	1,53E+00	2,41E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	2,26E-01	1,29E+00	
101304502	m³	4,76E+03	2,42E+02	3,27E+03	1,99E+02	9,32E+02	4,72E+01	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	
101304504	m³	4,76E+03	2,42E+02	3,27E+03	1,99E+02	9,32E+02	4,72E+01	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	-6,82E+02	9,72E+02	
101306001	Ton	8,49E+03	1,10E+03	1,23E+04	1,40E+03																										
101309991	m³	0,00E+00	0,00E+00																												
101601003	Kg	2,28E+01	2,65E+00																												
101601024	Kg	0,00E+00	0,00E+00																												

Çizelge K.2 (devam) : Derslik binası için derlenen EPD belgeleri ve EE-EC değerleri (uygulama referans birimine göre).

Poz no	Birim	Tez EPD (refr.birim)		Ek EPD1 (refr.birim)		Ek EPD2 (refr.birim)		Ek EPD3 (refr.birim)		Ek EPD4 (refr.birim)		Ek EPD5 (refr.birim)		Ek EPD6 (refr.birim)		Ek EPD7 (refr.birim)		Ek EPD8 (refr.birim)		Ek EPD9 (refr.birim)	
		EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC	EE	EC
103301543	m ²	1,01E+02	6,70E+00	8,52E+01	7,71E+00	8,87E+01	7,91E+00	1,88E+01	1,62E+00	4,11E+01	4,62E+00	3,88E+01	3,25E+00	1,62E+01	1,65E+00						
103302262	m ³	2,80E+03	1,28E+02	2,07E+03	7,69E+01	1,65E+03	7,57E+01														
103302351	Ad	9,92E-01	7,51E-02																		
103302411	m	1,82E+01	1,85E+00	2,54E+01	1,32E+00	1,44E+01	1,23E+00														
103302501	m ²	6,00E+00	2,59E-01	8,40E+00	4,45E-01	1,90E+01	1,26E+00														
103302502	m ²	2,90E+00	1,26E-01	8,40E+00	4,45E-01	1,90E+01	1,26E+00														
103302503	Kg	1,92E+00	2,39E-01	5,79E+00	5,19E-01	2,44E+00	2,77E-01														
103302505	Kg	2,14E+00	2,55E-01	5,79E+00	5,19E-01	2,44E+00	2,77E-01														
103303101	Kg	1,02E+02	5,31E+00	9,00E+01	3,15E+00	1,00E+01	3,88E+00														
103305171	m ²	3,13E+01	1,09E+00	2,15E+02	5,99E+00	1,46E+02	2,98E+00	1,61E+02	3,16E+00												
103305291	Kg	2,92E+01	1,29E-01	2,94E+01	9,41E-01	3,83E+01	1,05E+00														
103305493	m ²	4,29E+00	2,56E-01																		
103305498	m ²	1,29E+02	2,39E+00																		
103306004	m ²	9,00E+00	5,77E-01	2,15E+00	1,85E-01																
103306401	m ²	1,18E+01	8,45E-01																		
103801512	m ²	2,52E+02	2,10E+01	2,92E+02	2,72E+01	3,78E+02	2,54E+01	2,72E+02	2,11E+01												
103801581	m ²	2,82E+02	2,30E+01	7,06E+02	5,12E+01	4,83E+02	3,26E+01	9,52E+01	2,15E+01												
103809981	Ad	9,62E-01	4,56E-02	1,84E-01	1,24E-02	1,68E-01	9,62E-03														
104001021	Kg	7,75E+01	3,64E+00	1,19E+02	5,49E+00																
104001022	Ad	4,86E-01	4,29E-02																		
104002004	Ad	9,21E+01	7,86E+00	6,78E+01	5,05E+00	8,04E+01	6,03E+00														
104002008	Ad	5,23E+01	4,02E+00	4,13E+01	3,10E+00																
104002010	Ad	3,27E+00	2,51E-01	2,58E+00	1,94E-01																
104201006	Kg	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00														
104201007	Kg	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00														
104201008	Kg	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00														
104201012	Ad	2,48E-01	1,88E-02	3,82E-01	2,72E-02																
104201013	Kt	4,73E+01	4,22E+00	6,62E+01	5,61E+00	1,03E+02	8,37E+00														
104201014	Kt	4,73E+01	4,22E+00	6,62E+01	5,61E+00	1,03E+02	8,37E+00														
104201302	Kg	7,70E+00	5,20E-01	2,39E+01	1,03E+00																
104201305	Kg	7,70E+00	5,20E-01	2,39E+01	1,03E+00																
104201402	m	8,08E+01	3,83E+00	9,62E+00	5,47E+00	1,00E+02	4,40E+00														
104201501	Ad	2,09E+00	1,90E-01	8,51E-01	6,56E-02																
104201513	m ²	2,87E+01	1,49E+00	8,65E+01	3,51E+00																
104501057	m	6,09E+01	2,88E+00	7,54E+01	3,31E+00																
104801821	Kg	6,34E+00	6,66E-01	1,57E+00	2,09E-01																
111111111	m ²	1,55E+03	106,8							8,08E+00	5,44E-01										
101702625	m ²	1,70E+03	1,13E+02					9,23E+00	5,96E-01												

Çizelge K.3 : Ek EPD belgelerinin atfı listesi.

Poz no	Referanslar (Web Referansı: WR)	Poz no	Referanslar (Web Referansı: WR)	Poz no	Referanslar (Web Referansı: WR)
101301001	WR EK-A-286/ WR EK-A-334/ WR EK-A-369	102003052	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401	103302502	WR EK-A-427/ WR EK-A-452
101301002	WR EK-A-286/ WR EK-A-334/ WR EK-A-369	102003053	WR EK-A-305/ WR EK-A-348/ WR EK-A-380/ WR EK-A-395/ WR EK-A-399/ WR EK-A-402	103302503	WR EK-A-320/ WR EK-A-361
101301005	WR EK-A-286/ WR EK-A-334/ WR EK-A-369	102003055	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401	103302505	WR EK-A-320/ WR EK-A-361
101301007	WR EK-A-286/ WR EK-A-334/ WR EK-A-369	102003056	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401	103303101	WR EK-A-428/ WR EK-A-453
101301009	WR EK-A-286/ WR EK-A-334/ WR EK-A-369	102003057	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401	103305171	WR EK-A-322/ WR EK-A-362/ WR EK-A-387
101301203	WR EK-A-287/ WR EK-A-335/ WR EK-A-370/ WR EK-A-390/ WR EK-A-	1020031129	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401	103305291	WR EK-A-323/ WR EK-A-363
101301501	WR EK-A-288/ WR EK-A-336	102003136	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401	103306004	WR EK-A-324
101301502	WR EK-A-289/ WR EK-A-339/ WR EK-A-373/ WR EK-A-391	102003137	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401	103801512	WR EK-A-429/ WR EK-A-454/ WR EK-A-465
101301503	WR EK-A-406/ WR EK-A-434/ WR EK-A-434	102003601	WR EK-A-416/ WR EK-A-443/ WR EK-A-461/ WR EK-A-469	103801581	WR EK-A-326/ WR EK-A-365/ WR EK-A-388
101301504	WR EK-A-407/ WR EK-A-434	102004024	WR EK-A-329/ WR EK-A-368	103809981	WR EK-A-216/ WR EK-A-366
101301505	WR EK-A-407/ WR EK-A-434	102004508	WR EK-A-416/ WR EK-A-443/ WR EK-A-461/ WR EK-A-469	104001021	WR EK-A-328
101301507	WR EK-A-407/ WR EK-A-434	102401701	WR EK-A-306/ WR EK-A-349/ WR EK-A-381	104201006	WR EK-A-329/ WR EK-A-368
101301704	WR EK-A-291/ WR EK-A-338/ WR EK-A-372	102402603	WR EK-A-274/ WR EK-A-444	104201007	WR EK-A-329/ WR EK-A-368
101301705	WR EK-A-291/ WR EK-A-338/ WR EK-A-372	102402668	WR EK-A-274/ WR EK-A-444	104201008	WR EK-A-329/ WR EK-A-368
101301707	WR EK-A-292/ WR EK-A-339/ WR EK-A-373/ WR EK-A-391	102403608	WR EK-A-417/ WR EK-A-445/ WR EK-A-462/ WR EK-A-470	104201012	WR EK-A-330
101301708	WR EK-A-408/ WR EK-A-435/ WR EK-A-455/ WR EK-A-466/ WR EK-A-	102403658	WR EK-A-417/ WR EK-A-445/ WR EK-A-462/ WR EK-A-470	104201013	WR EK-A-329/ WR EK-A-368
101301752	WR EK-A-409/ WR EK-A-436/ WR EK-A-456	102403660	WR EK-A-417/ WR EK-A-445/ WR EK-A-462/ WR EK-A-470	104201014	WR EK-A-329/ WR EK-A-368
101302505	WR EK-A-294/ WR EK-A-340/ WR EK-A-374	102404605	WR EK-A-418/ WR EK-A-446	104201302	WR EK-A-331
101302511	WR EK-A-294/ WR EK-A-340/ WR EK-A-374	102405507	WR EK-A-309/ WR EK-A-353/ WR EK-A-310	104201305	WR EK-A-331
101302513	WR EK-A-294/ WR EK-A-340/ WR EK-A-374	102405508	WR EK-A-310/ WR EK-A-354	104201402	WR EK-A-432/ WR EK-A-433
101302790	WR EK-A-295/ WR EK-A-341/ WR EK-A-375/ WR EK-A-392	102405513	WR EK-A-419/ WR EK-A-447/ WR EK-A-354/ WR EK-A-471	104201501	WR EK-A-332
101304502	WR EK-A-297/ WR EK-A-343/ WR EK-A-376	102405633	WR EK-A-420/ WR EK-A-448/ WR EK-A-463/ WR EK-A-472	104201513	WR EK-A-333
101304504	WR EK-A-297/ WR EK-A-343/ WR EK-A-376	102406602	WR EK-A-421/ WR EK-A-449	104501057	WR EK-A-433
101306001	WR EK-A-300	102406607	WR EK-A-421/ WR EK-A-449	104801821	WR EK-A-292/ WR EK-A-339/ WR EK-A-373/
101702002	WR EK-A-302/ WR EK-A-345/ WR EK-A-378/ WR EK-A-393	102406735	WR EK-A-422/ WR EK-A-450	103002232	WR EK-A-315/ WR EK-A-359
101702202	WR EK-A-302/ WR EK-A-345/ WR EK-A-378/ WR EK-A-393	103001041	WR EK-A-311/ WR EK-A-355/ WR EK-A-384/ WR EK-A-396	103301543	WR EK-A-426/ WR EK-A-451
102001002	WR EK-A-410/ WR EK-A-437/ WR EK-A-457/ WR EK-A-467/ WR EK-A-	103001047	WR EK-A-311/ WR EK-A-396/ WR EK-A-464	103302262	WR EK-A-319/ WR EK-A-318
102001254	WR EK-A-410/ WR EK-A-438/ WR EK-A-458	103001053	WR EK-A-312/ WR EK-A-356	103302411	WR EK-A-305/ WR EK-A-348/ WR EK-A-380/
102001302	WR EK-A-411/ WR EK-A-439	103001171	WR EK-A-313/ WR EK-A-357/ WR EK-A-385	103302501	WR EK-A-427/ WR EK-A-452
102001501	WR EK-A-410/ WR EK-A-437/ WR EK-A-457/ WR EK-A-467/ WR EK-A-	103001172	WR EK-A-313/ WR EK-A-357/ WR EK-A-385	102003003	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/
102001601	WR EK-A-412/ WR EK-A-339/ WR EK-A-416/ WR EK-A-443/ WR EK-A-	103001175	WR EK-A-423	102003023	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/
102002006	WR EK-A-305/ WR EK-A-348/ WR EK-A-380/ WR EK-A-395/ WR EK-A-	103001183	WR EK-A-313/ WR EK-A-357/ WR EK-A-385	102003026	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/
102002016	WR EK-A-305/ WR EK-A-348/ WR EK-A-380/ WR EK-A-395/ WR EK-A-	103002152	WR EK-A-313/ WR EK-A-357/ WR EK-A-385	102003028	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/
102002401	WR EK-A-413/ WR EK-A-440/ WR EK-A-459	103002174	WR EK-A-424	102003030	WR EK-A-329/ WR EK-A-368
102002701	WR EK-A-414/ WR EK-A-441/ WR EK-A-460/ WR EK-A-468	103002179	WR EK-A-425	103002231	WR EK-A-315/ WR EK-A-359
102002801	WR EK-A-415/ WR EK-A-442	103002203	WR EK-A-314/ WR EK-A-358/ WR EK-A-386	102003002	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/

*Atıflar EPD-1, EPD-2... şeklinde poz numaralarına sırayla verilmiştir. Sadece Çizelge K.2’de Ek EPD yazan verilerin atfı sırasıdır. Çizelge K.2’de ilk sütun tezde analizlerde kullanılan EPD belgelerini temsil ettiğinden, bu verilerin atfı Ek A’da bulunmaktadır.

Çizelge K.4 : Derslik ICE-EPD karşılaştırması için kg referans birimine göre EE-EC değerleri.

ICE	Envanter ismi	Taz EPD (kg birim)		EPD1 (kg birim)		EPD2 (kg birim)		EPD3 (kg birim)		EPD4 (kg birim)		EPD5 (kg birim)		EPD6 (kg birim)		EPD7 (kg birim)		EPD8 (kg birim)		EPD9 (kg birim)	
		EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)
aggregate	0,083	0,0052	2,32E-02	1,83E-03	3,70E-02	2,70E-03	5,14E-02	1,78E-03	5,61E-02	4,89E-03											
aggregate	0,083	0,0052	2,32E-02	1,83E-03	3,70E-02	2,70E-03	5,14E-02	1,78E-03	5,61E-02	4,89E-03											
aggregate	0,083	0,0052	2,32E-02	1,83E-03	3,70E-02	2,70E-03	5,14E-02	1,78E-03	5,61E-02	4,89E-03											
aggregate	0,083	0,0052	2,32E-02	1,83E-03	3,70E-02	2,70E-03	5,14E-02	1,78E-03	5,61E-02	4,89E-03											
aggregate	0,083	0,0052	2,32E-02	1,83E-03	3,70E-02	2,70E-03	5,14E-02	1,78E-03	5,61E-02	4,89E-03											
cement-cem1	5,5	0,95	3,87E+00	9,08E-01	3,71E+00	7,70E-01	2,29E+00	6,98E-01	2,82E+00	8,59E-01	2,32E+00	7,91E-01	1,73E+00	1,05E+00	2,74E+00	8,12E-1					
general concrete	0,75	0,107	101301501	2,70E-01	6,86E-02	3,52E-01	6,60E-02	4,88E-01	8,99E-02												
general concrete	0,75	0,107	101301502	2,70E-01	6,86E-02	3,41E-01	8,00E-02	4,88E-01	8,99E-02												
concrete-C16/20	0,7	0,1	101301503	2,38E-01	7,33E-02	2,89E-01	1,09E-01	4,43E-01	8,22E-02	4,15E-01	7,48E-02										
concrete-C20/25	0,74	0,107	101301504	6,89E-01	1,17E-01	2,89E-01	1,29E-01	6,89E-01	1,17E-01												
concrete-C25/30	0,78	0,113	101301505	7,16E-01	1,23E-01	3,00E-01	1,34E-01	5,03E-01	9,39E-02												
concrete-C32/40	0,88	0,132	101301507	8,95E-01	1,58E-01	3,32E-01	1,47E-01	6,20E-01	1,24E-01												
steel-bar and rod-	8,8	0,45	101301704	6,40E+00	6,73E-01	2,81E+01	2,07E+00	1,22E+01	7,79E-01	6,53E+00	5,27E-01										
recycled																					
steel-bar and rod-	8,8	0,45	101301705	6,40E+00	6,73E-01	2,81E+01	2,07E+00	1,22E+01	7,79E-01	6,53E+00	5,27E-01										
recycled																					
steel-bar and rod-	8,8	0,45	101301707	6,34E+00	6,66E-01	1,57E+00	2,09E-01	6,25E+00	5,11E-01	8,08E+00	5,44E-01										
recycled																					
steel-bar and rod-	8,8	0,45	101301708	6,34E+00	6,66E-01	2,56E+01	2,28E+00	8,59E+00	6,35E-01	7,65E+00	7,14E-01										
recycled																					
steel-bar and rod-	8,8	0,45	101301752	6,71E+00	7,02E-01	6,88E+00	3,91E-01	4,67E+01	3,87E+00												
recycled																					
autoclaved aerated blocks	3,5	0,31	101302505	4,47E+00	5,09E-01	4,87E+00	6,03E-01	2,63E+00	3,94E-01	2,62E+00	4,80E-01										
autoclaved aerated blocks	3,5	0,31	101302511	4,47E+00	5,09E-01	4,87E+00	6,03E-01	2,63E+00	3,94E-01	2,62E+00	4,80E-01										
autoclaved aerated blocks	3,5	0,31	101302513	4,47E+00	5,09E-01	4,87E+00	6,03E-01	2,63E+00	3,94E-01	2,62E+00	4,80E-01										
steel-bar and rod-	3,75	0,32	101302651	3,55E+00	5,58E-01																
steel-bar and rod-	3,75	0,32	101302653	3,55E+00	5,58E-01																
mortar (1.5-cement:sand)	0,97	0,156	101302790	1,03E+00	1,54E-01	2,30E+00	4,08E-01	1,53E+00	2,41E-01	9,19E-01	1,44E-01										
timber-general	10	0,72	101304502	9,07E+00	4,61E-01	7,27E+00	4,42E-01	1,98E+00	1,00E-01	1,85E+00	-1,30E+00										
timber-general	10	0,72	101304504	9,07E+00	4,61E-01	7,27E+00	4,42E-01	1,98E+00	1,00E-01	1,85E+00	-1,30E+00										
lime-general	5,3	0,78	101306001	8,49E+00	1,10E+00	1,23E+01	1,40E+00														
veri yok			101309991	0,00E+00	0,00E+00																
veri yok			101601003	2,28E+01	2,65E+00																
veri yok			101601024	0,00E+00	0,00E+00																
veri yok			101601026	0,00E+00	0,00E+00																
mdf-timber	11	0,74	101702002	1,18E+01	2,52E-03	9,52E+00	5,86E-01	6,48E+00	3,21E-01	1,19E+01	4,01E-01										
particle board-timber	14,5	0,54	101702202	5,84E+00	3,46E-01	9,52E+00	5,86E-01	6,48E+00	3,21E-01	1,19E+01	4,01E-01										
steel-coil sheet-average-%59 recycled	18,8	1,38	102001002	2,22E+01	2,07E+00	2,56E+01	2,12E+00	2,24E+01	1,98E+00	2,99E+01	2,48E+00	3,19E+01	2,72E+00								
steel-coil sheet-average-	18,8	1,38	102001254	2,36E+01	2,16E+00	2,56E+01	2,12E+00	8,31E+00	7,45E-01												
%59 recycled																					
steel-coil galvanised	22,6	1,54	102001302	1,26E+01	9,94E-01	5,64E+01	5,29E+00	2,61E+01	2,50E+00												
sheet-average-%59	25,1	1,66	102001501	2,22E+01	2,07E+00	2,56E+01	2,12E+00	6,25E+00	5,11E-01	2,69E+01	2,46E+00	3,19E+01	2,72E+00								
steel-plate-average-%59 recycled																					
steel-bar and rod-	8,8	0,45	102001601	1,45E+01	9,82E-01	4,61E+01	3,47E+00	8,70E+01	7,43E+00	2,49E+02	2,80E-01	2,35E+02	1,97E+01	1,57E+00	2,09E-01	9,23E+00	5,96E-1	3,22E+01	2,93E+00	6,72E+0	7,01E-1
recycled																					
aluminium extruded	154	9,08	102002006	1,15E+02	1,16E+01	1,54E+02	8,02E+00	8,70E+01	7,43E+00	2,49E+02	2,80E-01	2,35E+02	1,97E+01	1,57E+00	2,09E-01	9,23E+00	5,96E-1	3,22E+01	2,93E+00	6,72E+0	7,01E-1
aluminium extruded	154	9,08	102002016	1,46E+02	1,22E+01	1,54E+02	8,02E+00	8,70E+01	7,43E+00	2,49E+02	2,80E-01	2,35E+02	1,97E+01	1,57E+00	2,09E-01	9,23E+00	5,96E-1	3,22E+01	2,93E+00	6,72E+0	7,01E-1

Çizelge K.4 (devam) : Derslik ICE-EPD karşılaştırması için kg referans birimine göre EE-EC değerleri.

ICE	Envanter ismi	EE (kg)	EC	Tez EPD (kg birim)		EPD1 (kg birim)		EPD2 (kg birim)		EPD3 (kg birim)		EPD4 (kg birim)		EPD5 (kg birim)		EPD6 (kg birim)		EPD7 (kg birim)		EPD8 (kg birim)	
				EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)
plastic-general aluminium extruded- general		108,27	4,86	6,90E+01	4,77E+00	8,19E+01	9,12E+00	6,70E+01	5,94E+00	5,68E+01	4,37E+00	5,11E+01	5,48E+0								
		154	9,08	1,10E+02	1,12E+01	2,58E+02	1,80E+01	9,17E+01	7,14E+00	9,50E+01	9,87E+00										
zinc-general		veri yok																			
		53,1	3,09	2,35E+01	2,91E+00	3,10E+01	3,40E+00	2,83E+01	3,32E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
steel-coil galvanised sheet-average-%59		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
steel-coil galvanised sheet-average-%59		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
steel-coil galvanised sheet-average-%59		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
steel-coil galvanised sheet-average-%59		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
steel-coil galvanised sheet-average-%59		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
steel-coil galvanised sheet-average-%59		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
		22,6	1,54	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00	3,19E+01	2,98E+0	2,73E+01	1,73E+0	3,38E+01	2,81E+0				
steel-bar and rod- recycled		8,8	0,45	6,72E+00	7,01E-01	2,69E+01	2,46E+00	2,48E+01	2,39E+00	2,68E+01	2,42E+00	2,80E+01	2,69E+0								
		22,6	1,54	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00												
steel-coil galvanised sheet-average-%59		15	0,91	1,31E+01	1,09E+00	1,46E+01	1,36E+00	1,89E+01	1,27E+00	1,36E+01	1,06E+00										
		23,5	1,35	1,62E+01	1,30E+00	1,73E+01	1,25E+00	2,39E+01	1,61E+00	4,76E+00	1,08E+00										
glass-toughened pvc general		77,2	3,1	4,81E+01	2,28E+00	7,08E+01	4,75E+00	6,48E+01	3,70E+00												
		91	2,85	7,75E+01	3,64E+00	1,19E+02	5,49E+00														
rubber		veri yok																			
		19,8	1,45	6,72E+00	7,01E-01	2,69E+01	2,46E+00	2,48E+01	2,39E+00	2,68E+01	2,42E+00	2,80E+01	2,69E+0								
steel-pipe-general		19,8	1,45	6,72E+00	7,01E-01	2,69E+01	2,46E+00	2,48E+01	2,39E+00	2,68E+01	2,42E+00	2,80E+01	2,69E+0								

Çizelge K.4 (devam) : Derslik ICE-EPD karşılaştırması için kg referans birimine göre EE-EC değerleri.

ICE	Envanter ismi	EE (kg)	EC (kg)	Tez EPD (kg birim)		EPD1 (kg birim)		EPD2 (kg birim)		EPD3 (kg birim)		EPD4 (kg birim)		EPD5 (kg birim)		EPD6 (kg birim)		EPD7 (kg birim)		EPD8 (kg birim)	
				EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)
marble tile-stone general stone general stone ceramics-tile ceramics-tile ceramics-tile terrazzo tiles plaster-general plaster-general plaster-general plasterboard aluminium extruded recycled aluminium extruded recycled insulation-glasswool waterborne paint paint-general paint-general	102401701	3,33	0,21	5,65E+00	4,17E-01	1,47E+00	1,09E-01	1,37E+01	7,77E-01	1,92E+01	1,10E+00										
	102402603	1,26	0,079	1,22E+00	1,30E-01	7,65E-01	1,18E-01	1,36E+00	7,00E-02												
	102402668	1,26	0,079	1,22E+00	1,30E-01	7,65E-01	1,18E-01	1,36E+00	7,00E-02												
	102403608	12	0,78	1,28E+01	7,56E-01	6,81E+00	4,66E-01	7,48E+00	4,64E-01	1,05E+01	6,36E-01	7,74E+00	4,50E-01								
	102403658	12	0,78	1,28E+01	7,56E-01	6,81E+00	4,66E-01	7,48E+00	4,64E-01	1,05E+01	6,36E-01	7,74E+00	4,50E-01								
	102403660	12	0,78	1,28E+01	7,56E-01	6,81E+00	4,66E-01	7,48E+00	4,64E-01	1,05E+01	6,36E-01	7,74E+00	4,50E-01								
	102404605	1,4	0,12	1,23E+01	5,77E-01	2,84E+00	2,37E-01	2,18E+00	2,09E-01	2,14E+00	1,42E-01										
	102405507	1,8	0,13	1,29E+00	8,70E-02	2,20E+00	1,20E-01	1,90E+00	1,40E-01												
	102405508	1,8	0,13	1,06E+00	6,90E-02	2,14E+00	1,42E-01	1,54E+00	1,02E-01	1,54E+00	1,02E-01	2,30E+00	1,26E-01								
	102405513	1,8	0,13	1,09E+00	7,30E-02	4,35E+00	2,43E-01	2,70E+00	1,60E-01	2,54E+00	1,14E-01	3,10E+00	2,10E-01								
epoxide resin epoxide resin	102405633	6,75	0,39	4,90E+00	2,38E-01	2,96E+00	1,84E-01	5,88E+00	1,29E-01												
	102406602	34	2,12	4,16E+01	4,30E+00	8,88E+01	8,96E+00	2,55E+01	4,41E+00												
	102406607	34	2,12	4,16E+01	4,30E+00	8,88E+01	8,96E+00	2,55E+01	4,41E+00												
	102406735	28	1,35	1,49E+01	1,02E+00	1,04E+02	5,78E+00	1,21E+01	8,78E-01												
	103001041	59	2,54	1,95E+01	1,29E+00	2,04E+01	1,31E+00	2,07E+01	1,69E+00	3,65E+01	2,44E+00	2,36E+01	1,72E+00								
	103001047	70	2,91	4,37E+01	2,58E+00	2,04E+01	1,31E+00	2,36E+01	1,72E+00	3,66E+01	2,11E+00										
	103001053	70	2,91	1,69E+01	1,09E+01	2,34E+00	2,33E-01	1,23E+01	1,04E+00												
	103001171	veri yok		2,00E+01	1,08E+00	1,36E+01	5,62E-01	1,26E+01	8,81E-01												
	103001172	veri yok		2,00E+01	1,08E+00	1,36E+01	5,62E-01	1,26E+01	8,81E-01												
	103001175	veri yok		1,91E+01	9,62E-01	5,12E+01	3,82E+00	1,26E+01	8,81E-01												
cement(%40)-lime(%60) cement(%35)-sand(%65) cement(%35)-sand(%65) rockwool expanded polystyrene general steel general pe aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded aluminium extruded	103001183	6,85E+01	1,86E+00	1,36E+01	5,62E-01	1,36E+01	5,62E-01	1,26E+01	8,81E-01												
	103001601	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00												
	103001602	137	5,7	2,20E+01	4,03E-01	1,36E+01	5,62E-01	1,26E+01	8,81E-01												
	103002152	137	5,7	4,89E+01	2,60E-01	1,36E+01	5,62E-01	1,26E+01	8,81E-01												
	103002157	137	5,7	5,15E+01	2,88E+00	2,76E+01	1,46E+00	2,76E+01	1,46E+00												
	103002174	137	5,7	2,22E+01	9,56E-01	8,25E+01	3,46E+00	8,25E+01	3,46E+00												
	103002179	137	5,7	8,70E+01	4,76E+00	8,25E+01	3,46E+00	8,25E+01	3,46E+00												
	103002191	137	5,7	1,76E+01	9,64E-01	6,40E+00	5,71E-01	1,92E+00	2,35E-01												
	103002203	5,1	0,764	5,81E+00	5,34E-01	6,40E+00	5,71E-01	1,92E+00	2,35E-01												
	103002231	1,628	0,262	2,14E+00	2,55E-01	4,59E+00	4,39E-01	6,36E+00	6,22E-01												
cement mortar (1:3 c:s) cement mortar (1:3 c:s) polyurethane rigid foam membrane bitumen felt carpet	103002232	1,628	0,262	2,14E+00	2,55E-01	4,59E+00	4,39E-01	6,36E+00	6,22E-01												
	103001543	16,8	1,12	1,68E+01	1,12E+00	1,42E+01	1,29E+00	1,48E+01	1,32E+00												
	103302262	88,6	3,29	9,32E+01	4,28E+00	6,91E+01	2,56E+00	5,08E+01	2,34E+00												
	103302351	51,6	2	2,48E+01	1,88E+00	6,91E+01	2,56E+00	5,08E+01	2,34E+00												
	103302411	154	9,08	1,10E+02	1,12E+01	1,54E+02	8,02E+00	8,70E+01	7,43E+00												
	103302501	137	5,7	3,87E+01	1,67E+00	5,25E+01	2,78E+00	6,79E+01	4,50E+00												
	103302502	137	5,7	3,87E+01	1,67E+00	5,25E+01	2,78E+00	6,79E+01	4,50E+00												
	103302503	137	5,7	1,92E+00	2,39E-01	5,79E+00	5,19E-01	2,78E+00	2,77E-01												
	103302505	137	5,7	2,14E+00	2,55E-01	5,79E+00	5,19E-01	2,78E+00	2,77E-01												
	103303101	101,5	4,26	1,02E+02	5,31E+00	9,00E+01	3,15E+00	1,00E+01	3,88E+00												
cement mortar (1:3 c:s) cement mortar (1:3 c:s) polyurethane rigid foam membrane bitumen felt carpet	103305171	134	4,2	1,42E+01	4,95E-01	8,60E+01	2,40E+00	5,84E+01	1,19E+00												
	103305291	51	0,49	2,92E+01	1,29E-01	2,94E+01	9,41E-01	3,83E+01	1,05E+00												
	103305493	137	5,7	1,92E+00	2,39E-01	5,79E+00	5,19E-01	2,78E+00	2,77E-01												
	103305498	137	5,7	1,92E+00	2,39E-01	5,79E+00	5,19E-01	2,78E+00	2,77E-01												
	103306004	19	0,97	6,00E+01	3,84E+00	8,58E+00	7,38E-01	3,83E+01	1,05E+00												
	103306004	19	0,97	6,00E+01	3,84E+00	8,58E+00	7,38E-01	3,83E+01	1,05E+00												
	103306004	19	0,97	6,00E+01	3,84E+00	8,58E+00	7,38E-01	3,83E+01	1,05E+00												
	103306004	19	0,97	6,00E+01	3,84E+00	8,58E+00	7,38E-01	3,83E+01	1,05E+00												
	103306004	19	0,97	6,00E+01	3,84E+00	8,58E+00	7,38E-01	3,83E+01	1,05E+00												
	103306004	19	0,97	6,00E+01	3,84E+00	8,58E+00	7,38E-01	3,83E+01	1,05E+00												

Çizelge K.4 (devam) : Derslik ICE-EPD karşılaştırması için kg referans birimine göre EE-EC değerleri.

ICE	EE (kg)	EC (kg)	Poz no	Tez EPD (kg birim)		EPD1 (kg birim)		EPD2 (kg birim)		EPD3 (kg birim)		EPD4 (kg birim)		EPD5 (kg birim)		EPD6 (kg birim)		EPD7 (kg birim)		EPD8 (kg birim)	
Envanter ismi				EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)
general steel(%69)-stainless steel(%15)-aluminium-cast product	45,17	3,63	104002004	9,95E+01	8,49E+00	7,25E+01	5,40E+00	8,60E+01	6,45E+00												
aluminium-cast product	159	9,22	104002008	1,09E+02	8,37E+00	8,60E+01	6,45E+00														
	159	9,22	104002010	1,09E+02	8,37E+00	8,60E+01	6,45E+00														
steel-coil galvanised	22,6	1,54	104201006	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00												
sheet-average-%59	22,6	1,54	104201007	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00												
steel-coil galvanised	22,6	1,54	104201008	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00												
sheet-average-%59	66,25	2,95	104201012	2,48E+01	1,88E+00	1,14E+01	8,11E-01														
polypropylene injection moulding-steel bar and steel-coil galvanised	22,6	1,54	104201013	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00												
sheet-average-%59	22,6	1,54	104201014	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00												
sheet-average-%59	veri yok		104201302	7,70E+00	5,20E-01	2,39E+01	1,03E+00														
pvc pipe	67,5	3,23	104201305	7,70E+00	5,20E-01	2,39E+01	1,03E+00														
paperboard	24,8	1,29	104201501	1,64E+01	1,58E+00	6,70E+00	5,17E-01														
calendered sheets pvc	68,6	3,19	104201513	2,39E+01	1,24E+00	7,21E+01	2,93E+00														
pvc pipe	67,5	3,23	104501057	7,70E+01	3,65E+00	5,96E+01	2,62E+00														
steel- bar and rod- recycled	8,8	0,45	104801821	6,34E+00	6,66E-01	1,57E+00	2,09E-01	6,25E+00	5,11E-01	9,23E+00	5,96E-01	8,08E+00	5,44E-01								
plastics-hdpe	76,7	1,93	103306401	2,36E+01	1,69E+00																

EK L: Konut Yapısı Veri Analiz Tabloları.

*Veri Karşılaştırması için Derlenen Veriler

*Poz numaralarının tanımlarına, maliyetine ve çevresel etkilerine erişim linki:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/19-C0i2nh_UN9ZZWR18rnYj_MgQtCi55Zfz2QFYQmwc/edit?usp=sharing

Çizelge L.1 : Konut binası malzeme rayiç pozları ve metrajları.

Poz No	Metraj	Birim	Poz No	Metraj	Birim	Poz No	Metraj	Birim	Poz No	Metraj	Birim
101301005	2,23E+02	m ³	101601024	1,63E+02	Kg	102405507	2,77E+04	Kg	103303501	9,45E+02	m ²
101301007	6,40E+01	m ³	101601025	2,92E+01	Kg	102405508	5,10E+03	Kg	103305171	1,86E+03	m ²
101301009	2,88E+00	m ³	101601026	1,30E+03	Kg	102406603	4,10E+02	m ²	103305291	2,41E+02	Kg
101301203	6,36E+01	Ton	101601030	2,24E+03	Kwh	103001041	1,06E+03	lt	103305498	4,48E+02	m ²
101301501	1,61E+01	m ³	101701202	1,03E+03	m ²	103001053	1,40E+03	Kg	103306004	6,63E+02	m ²
101301502	3,22E+01	m ³	101702002	6,34E+02	m ²	103001171	5,10E+02	lt	103306013	1,53E+02	m ²
101301506	7,91E+02	m ³	101702501	5,81E+02	m ²	103001172	1,55E+02	lt	103306442	1,68E+03	Adet
101301704	5,09E+04	Kg	102002002	1,14E+03	Kg	103001602	5,00E-01	Ad	103801581	3,27E+02	m ²
101301705	2,39E+04	Kg	102003052	1,02E+03	m	103002062	7,58E+01	Kg	103809981	3,74E+03	Ad
101301707	7,39E+01	Kg	102003053	1,02E+03	m	103002094	1,89E+03	Kg	104001001	4,30E+03	Kg
101302001	1,57E+04	Ad	102003055	1,84E+02	Ad	103002191	5,73E+02	Kg	104001005	4,92E+02	Kg
101302505	1,17E+03	m ²	102003056	5,74E+02	Ad	103002201	4,00E+03	Kg	104001021	4,20E+02	Kg
101302511	6,69E+02	m ²	102003057	7,81E+02	Ad	103002203	3,51E+03	Kg	104001022	2,49E+03	Ad
101302513	9,38E+02	m ²	102003129	3,91E+02	Ad	103002231	7,64E+02	Kg	104201006	1,37E+03	Kg
101302790	1,04E+04	Kg	102003136	3,91E+02	Ad	103301023	4,27E+02	m ²	104201007	2,56E+01	Kg
101304005	4,49E+02	m ²	102003137	3,91E+02	Ad	103301541	4,76E+02	m ²	104201008	1,28E+01	Kg
101304502	2,48E+01	m ³	102003141	1,76E+02	m	103302242	7,38E+01	m ³	104201009	5,73E+02	Kg
101304504	1,49E+01	m ³	102401701	1,34E+02	m ²	103302262	1,47E+01	m ³	104201012	7,81E+02	Ad
101304606	2,52E+02	m ²	102402000	6,93E+01	m ²	103302351	2,72E+03	Ad	104201302	1,19E+02	Kg
101304607	6,30E+02	m	102403352	1,05E+03	m ²	103302501	4,99E+02	m ²	104201305	1,22E+02	Kg
101306001	2,07E+01	Ton	102403456	9,30E+02	m ²	103302503	1,81E+03	Kg	104201501	1,32E+02	Ad
101309991	5,85E+02	m ³	102405506	2,82E+04	Kg	103302505	2,27E+03	Kg	104201513	1,50E+02	m ²
101601003	3,39E+01	Kg									

Çizelge L.2 : Konut binası için derlenen EPD belgeleri ve EE-EC değerleri (uygulama referans birimine göre).

Poz no	Tez EPD (refr.birim)			Ek EPD1 (refr.birim)			Ek EPD2 (refr.birim)			Ek EPD3 (refr.birim)			Ek EPD4 (refr.birim)			Ek EPD5 (refr.birim)			Ek EPD6 (refr.birim)			Ek EPD7 (refr.birim)		
	EE	EC		EE	EC		EE	EC		EE	EC		EE	EC		EE	EC		EE	EC		EE	EC	
101301005	4,18E+01	3,29E+00		5,55E+01	4,05E+00		8,74E+01	3,03E+00		9,54E+01	8,31E+00													
101301007	4,18E+01	3,29E+00		5,55E+01	4,05E+00		8,74E+01	3,03E+00		9,54E+01	8,31E+00													
101301009	3,48E+01	2,75E+00		6,29E+01	4,59E+00		8,74E+01	3,03E+00		9,54E+01	8,31E+00													
101301203	3,87E+03	9,08E+02		3,71E+03	7,70E+02		2,29E+03	6,98E+02		2,82E+03	8,59E+02		2,32E+03	7,91E+02		1,73E+03	8,57E+02		2,91E+03	1,05E+03		2,74E+03	8,12E+02	
101301501	6,37E+02	1,62E+02		7,99E+02	1,49E+02		1,22E+03	2,25E+02		7,93E+02	1,49E+02													
101301502	6,37E+02	1,62E+02		7,97E+02	1,87E+02		1,22E+03	2,25E+02		1,02E+03	2,48E+02													
101301506	1,86E+03	3,27E+02		1,46E+03	2,58E+02		7,45E+02	3,21E+02		1,02E+03	2,48E+02													
101301704	6,40E+00	6,73E-01		2,81E+01	2,07E+00		1,22E+01	7,79E-01		6,53E+00	5,27E-01													
101301705	6,40E+00	6,73E-01		2,81E+01	2,07E+00		1,22E+01	7,79E-01		6,53E+00	5,27E-01													
101301707	6,34E+00	6,66E-01		1,57E+00	2,09E-01		6,25E+00	5,11E-01		9,23E+00	5,96E-01		8,08E+00	5,44E-01										
101302001	4,23E+00	4,80E-01		5,04E+00	3,46E-01																			
101302505	1,35E+02	2,02E+01		1,70E+02	2,11E+01		1,00E+02	1,50E+01		2,57E+02	8,64E+00													
101302511	2,70E+02	4,05E+01		3,41E+02	4,22E+01		2,00E+02	3,00E+01		5,13E+02	9,42E+01													
101302513	3,37E+02	5,06E+01		4,26E+02	5,28E+01		2,51E+02	3,75E+01		6,42E+02	1,18E+02													
101302790	1,03E+00	1,54E-01		2,30E+00	4,08E-01		1,53E+00	2,41E-01		1,29E+00	2,26E-01		9,19E-01	1,44E-01										
101304005	1,76E+02	1,13E+01		2,07E+02	1,41E+01		1,65E+02	1,09E+01																
101304502	4,76E+03	2,42E+02		3,27E+03	1,99E+02		9,32E+02	4,72E+01		9,72E+02	-6,82E+02													
101304504	4,76E+03	2,42E+02		3,27E+03	1,99E+02		9,32E+02	4,72E+01		9,72E+02	-6,82E+02													
101304606	4,55E+01	-7,82E+00		2,35E+02	1,12E+01																			
101304607	1,39E+01	-2,39E+00		1,30E+02	2,57E+00		3,27E+01	1,99E+00		8,33E+00	-5,85E+00													
101306001	8,49E+03	1,10E+03		1,23E+04	1,40E+03																			
101309991	0,00E+00	0,00E+00																						
101601003	2,28E+01	2,65E+00																						
101601024	0,00E+00	0,00E+00																						
101601025	0,00E+00	0,00E+00																						
101601026	0,00E+00	0,00E+00																						
101601030	0,00E+00	0,00E+00																						
101701202	7,30E+01	3,91E+00		9,98E+01	5,74E+00		7,56E+01	4,62E+00		1,02E+02	6,54E+00		2,92E+01	1,44E+00										
101702002	3,97E+01	8,48E-03		2,78E+01	1,71E+00		1,58E+01	7,84E-01		3,20E+01	1,08E+00													
101702501	5,75E+01	2,32E+00																						
102002002	1,32E+02	1,31E+01		2,38E+02	1,03E+01		9,56E+01	9,91E+00																
102003052	7,23E+00	4,91E-01		1,81E+01	1,61E+00		1,26E+01	1,20E+00		1,40E+01	1,46E+00		1,59E+01	1,49E+00		1,37E+01	8,65E-01		1,69E+01	1,41E+00				
102003053	1,09E+02	1,10E+01		1,46E+02	7,62E+00		8,27E+01	7,06E+00		1,08E+02	9,33E+00		2,37E+02	2,66E+01		2,23E+02	1,87E+01		9,32E+01	9,50E+00				
102003055	6,20E+00	4,21E-01		1,55E+01	1,38E+00		1,08E+01	1,03E+00		1,20E+01	1,25E+00		1,37E+01	1,28E+00		1,17E+01	7,42E-01		1,45E+01	1,21E+00				
102003056	2,75E-01	1,87E-02		6,88E-01	6,10E-02		4,79E-01	4,54E-02		5,30E-01	5,53E-02		6,06E-01	5,66E-02		5,19E-01	3,29E-02		6,42E-01	5,34E-02				
102003057	7,23E-02	4,91E-03		1,81E-01	1,61E-02		1,26E-01	1,20E-02		1,40E-01	1,46E-02		1,59E-01	1,49E-02		1,37E-01	8,65E-03		1,69E-01	1,41E-02				
102003129	5,64E-01	3,83E-02		1,41E+00	1,25E-01		9,83E-01	9,32E-02		1,09E+00	1,13E-01		1,24E+00	1,16E-01		1,07E+00	6,74E-02		1,32E+00	1,10E-01				
102003136	3,32E-01	2,26E-02		8,33E-01	7,38E-02		5,80E-01	5,50E-02		6,42E-01	6,69E-02		7,33E-01	6,85E-02		6,29E-01	3,98E-02		7,77E-01	6,46E-02				
102003137	3,04E-01	2,06E-02		7,60E-01	6,74E-02		5,29E-01	5,02E-02		5,86E-01	6,11E-02		6,69E-01	6,26E-02		5,74E-01	3,63E-02		7,10E-01	5,90E-02				
102003141	1,82E+00	1,24E-01		1,55E+01	1,38E+00		1,08E+01	1,03E+00		1,20E+01	1,25E+00		1,37E+01	1,28E+00		1,17E+01	7,42E-01		1,45E+01	1,21E+00				
102401701	3,05E+02	2,25E+01		7,96E+01	5,87E+00		6,84E+02	3,89E+01		1,04E+03	5,94E-01													
102402000	1,20E+01	6,48E-01																						
102403352	1,50E+02	9,25E+00		2,98E+02	1,98E+01		1,61E+02	9,79E+00		1,01E+02	7,24E+00													
102403456	2,20E+02	1,31E+01		2,98E+02	1,98E+01		1,37E+02	9,98E+00																
102405506	1,13E+00	8,10E-02		1,56E+00	1,07E-01		1,31E+00	9,02E-02		4,92E+00	2,86E-01													
102405507	1,29E+00	8,70E-02		2,20E+00	1,20E-01		1,90E+00	1,40E-01		2,14E+00	1,42E-01													
102405508	1,06E+00	6,90E-02		2,14E+00	1,42E-01		1,54E+00	1,02E-01																
102406603	1,20E+02	1,21E+01																						

Çizelge L.2 (devam) : Konut binası için derlenen EPD belgeleri ve EE-EC değerleri (uygulama referans birimine göre).

Poz no	Tez EPD (refr.birim)			Ek EPD1 (refr.birim)			Ek EPD2 (refr.birim)			Ek EPD3 (refr.birim)			Ek EPD4 (refr.birim)			Ek EPD5 (refr.birim)			Ek EPD6 (refr.birim)			Ek EPD7 (refr.birim)		
	EE	EC		EE	EC		EE	EC		EE	EC		EE	EC		EE	EC		EE	EC		EE	EC	
103002191	1,76E+01	9,64E-01																						
103002201	1,67E+00	3,06E-01		6,40E+00	5,71E-01		1,92E+00	2,35E-01		1,60E+00	2,53E-01													
103002203	5,81E+00	5,34E-01		6,40E+00	5,71E-01		1,92E+00	2,35E-01		1,60E+00	2,53E-01													
103002231	2,14E+00	2,55E-01		4,59E+00	4,39E-01		6,36E+00	6,22E-01																
103301023	4,22E+01	2,20E+00		4,78E+01	3,19E+00		4,41E+01	2,66E+00																
103301541	6,03E+01	4,02E+00		4,80E+01	3,41E+00																			
103302242	2,80E+03	1,28E+02		1,64E+03	7,56E+01		2,26E+03	8,39E+01																
103302262	2,80E+03	1,28E+02		2,07E+03	7,69E+01		1,65E+03	7,57E+01																
103302351	9,92E-01	7,51E-02																						
103302501	6,00E+00	2,59E-01																						
103302503	1,92E+00	2,39E-01		5,79E+00	5,19E-01		2,44E+00	2,77E-01																
103302505	2,14E+00	2,55E-01		5,79E+00	5,19E-01		2,44E+00	2,77E-01																
103303501	5,14E+00	1,95E-01		7,84E+01	4,72E+00																			
103305171	3,13E+01	1,09E+00		2,15E+02	5,99E+00		1,46E+02	2,98E+00		1,61E+02	3,16E+00													
103305291	2,92E+01	1,29E-01		2,94E+01	9,41E-01		3,83E+01	1,05E+00																
103305498	1,29E+02	2,39E+00																						
103306004	9,00E+00	5,77E-01		2,15E+00	1,85E-01																			
103306013	5,73E+01	2,97E+00		1,80E+02	7,07E+00		7,32E+01	2,51E+00																
103306442	3,15E-01	2,81E-02																						
103801581	2,82E+02	2,30E+01		7,06E+02	5,12E+01		4,83E+02	3,26E+01		9,52E+01	2,15E+01													
103809981	9,62E-01	4,56E-02		1,84E-01	1,24E-02		1,68E-01	9,62E-03																
104001001	5,53E+01	2,95E+00		5,08E+01	2,30E+00		7,12E+01	3,57E+00		5,34E+01	2,70E+00													
104001005	5,53E+01	2,95E+00		5,08E+01	2,30E+00		7,12E+01	3,57E+00		5,34E+01	2,70E+00													
104001021	7,75E+01	3,64E+00		1,19E+02	5,49E+00																			
104001022	4,86E-01	4,29E-02																						
104201006	3,15E+01	2,81E+00		4,41E+01	3,74E+00		6,87E+01	5,58E+00																
104201007	3,15E+01	2,81E+00		4,41E+01	3,74E+00		6,87E+01	5,58E+00																
104201008	3,15E+01	2,81E+00		4,41E+01	3,74E+00		6,87E+01	5,58E+00																
104201009	3,15E+01	2,81E+00		4,41E+01	3,74E+00		6,87E+01	5,58E+00																
104201012	2,48E-01	1,88E-02		3,82E-01	2,72E-02																			
104201302	7,70E+00	5,20E-01		2,39E+01	1,03E+00																			
104201305	7,70E+00	5,20E-01		2,39E+01	1,03E+00																			
104201501	2,09E+00	1,90E-01		8,51E-01	6,56E-02																			
103001041	2,59E+01	1,72E+00		2,04E+01	1,31E+00		2,07E+01	1,69E+00		3,65E+01	2,44E+00		2,36E+01	1,72E+00										
103001053	1,69E+01	1,09E+00		2,34E+00	2,33E-01		1,23E+01	1,04E+00																
103001171	3,34E+01	1,80E+00		1,36E+01	5,62E-01		2,09E+01	1,47E+00		3,84E+01	2,00E+00													
103001172	3,34E+01	1,80E+00		1,36E+01	5,62E-01		2,09E+01	1,47E+00		3,84E+01	2,00E+00													
103001602	1,99E+02	3,64E+00																						
103002062	2,17E+00	6,32E-01																						
103002094	1,85E+00	2,64E-01		4,28E+00	1,74E-01																			
104201513	2,87E+01	1,49E+00		8,65E+01	3,51E+00																			

Çizelge L.3 : Ek EPD belgelerinin atfı listesi.

Poz no	Referanslar (Web Referansı: WR)	Poz no	Referanslar (Web Referansı: WR)	Poz no	Referanslar (Web Referansı: WR)
101301005	WR EK-A-286/ WR EK-A-334/ WR EK-A-369	103002094	WR EK-A-185	102003129	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401
101301007	WR EK-A-286/ WR EK-A-334/ WR EK-A-369	103002201	WR EK-A-314/ WR EK-A-358/ WR EK-A-386	102003136	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401
101301009	WR EK-A-286/ WR EK-A-334/ WR EK-A-369	103002203	WR EK-A-314/ WR EK-A-358/ WR EK-A-386	102003137	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401
101301203	WR EK-A-287/ WR EK-A-335/ WR EK-A-370/ WR EK-A-390/ WR EK-A-397/ WR EK-A-400/	103002231	WR EK-A-315/ WR EK-A-359	102003141	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401
101301501	WR EK-A-288/ WR EK-A-336	103301023	WR EK-A-316/ WR EK-A-360	102401701	WR EK-A-306/ WR EK-A-349/ WR EK-A-381
101301502	WR EK-A-289/ WR EK-A-336/ WR EK-A-288	103301541	WR EK-A-317	102403352	WR EK-A-307/ WR EK-A-350/ WR EK-A-382
101301506	WR EK-A-290/ WR EK-A-337/ WR EK-A-371	103302242	WR EK-A-318/ WR EK-A-319	102403456	WR EK-A-307/ WR EK-A-351
101301704	WR EK-A-291/ WR EK-A-338/ WR EK-A-372	103302262	WR EK-A-319/ WR EK-A-318	102405506	WR EK-A-308/ WR EK-A-352/ WR EK-A-383
101301705	WR EK-A-291/ WR EK-A-338/ WR EK-A-372	103302503	WR EK-A-320/ WR EK-A-361	102405507	WR EK-A-309/ WR EK-A-353/ WR EK-A-310
101301707	WR EK-A-292/ WR EK-A-339/ WR EK-A-373/ WR EK-A-391	103302505	WR EK-A-320/ WR EK-A-361	102405508	WR EK-A-310/ WR EK-A-354
101302001	WR EK-A-293	103303501	WR EK-A-321	103001041	WR EK-A-311/ WR EK-A-355/ WR EK-A-384/ WR EK-A-396
101302505	WR EK-A-294/ WR EK-A-340/ WR EK-A-374	103305171	WR EK-A-322/ WR EK-A-362/ WR EK-A-387	103001053	WR EK-A-312/ WR EK-A-356
101302511	WR EK-A-294/ WR EK-A-340/ WR EK-A-374	103305291	WR EK-A-323/ WR EK-A-363	103001171	WR EK-A-313/ WR EK-A-357/ WR EK-A-385
101302513	WR EK-A-294/ WR EK-A-340/ WR EK-A-374	103306004	WR EK-A-324	103001172	WR EK-A-313/ WR EK-A-357/ WR EK-A-385
101302790	WR EK-A-295/ WR EK-A-341/ WR EK-A-375/ WR EK-A-392	103306013	WR EK-A-325/ WR EK-A-364	104201302	WR EK-A-331
101304005	WR EK-A-296/ WR EK-A-342	103801581	WR EK-A-326/ WR EK-A-365/ WR EK-A-388	104201305	WR EK-A-331
101304502	WR EK-A-297/ WR EK-A-343/ WR EK-A-376	103809981	WR EK-A-216/ WR EK-A-366	104201501	WR EK-A-332
101304504	WR EK-A-297/ WR EK-A-343/ WR EK-A-376	104001001	WR EK-A-327/ WR EK-A-367/ WR EK-A-389	104201513	WR EK-A-333
101304606	WR EK-A-298	104001005	WR EK-A-327/ WR EK-A-367/ WR EK-A-389	102003053	WR EK-A-305/ WR EK-A-348/ WR EK-A-380/ WR EK-A-395/ WR EK-A-399/ WR EK-A-402
101304607	WR EK-A-299/ WR EK-A-297/ WR EK-A-376	104001021	WR EK-A-328	102003055	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401
101306001	WR EK-A-300	104201006	WR EK-A-329/ WR EK-A-368	102003056	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401
101701202	WR EK-A-301/ WR EK-A-344/ WR EK-A-377	104201007	WR EK-A-329/ WR EK-A-368	102003057	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401
101702002	WR EK-A-302/ WR EK-A-345/ WR EK-A-378/ WR EK-A-393	104201008	WR EK-A-329/ WR EK-A-368	104201012	WR EK-A-330
102002002	WR EK-A-303/ WR EK-A-346	104201009	WR EK-A-329/ WR EK-A-368	102003052	WR EK-A-304/ WR EK-A-347/ WR EK-A-379/ WR EK-A-394/ WR EK-A-398/ WR EK-A-401

* Atıflar EPD-1, EPD-2... şeklinde poz numaralarına sırayla verilmiştir. Sadece Çizelge L.2’de Ek EPD yazan verilerin atfı sırasıdır. Çizelge L.2’de ilk sütun tezte analizlerde kullanılan EPD belgelerini temsil ettiğinden, bu verilerin atfı Ek A’da bulunmaktadır

Çizelge L.4 : Konut ICE-EPD karşılaştırması için kg referans birimine göre EE-EC değerleri.

ICE (kg birim)				Tez EPD (kg birim)		EPD1 (kg birim)		EPD2 (kg birim)		EPD3 (kg birim)		EPD4 (kg birim)		EPD5 (kg birim)		EPD6 (kg birim)		EPD7 (kg birim)	
Envanter İsmi	EE (kg)	EC (kg)	Poz no	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)
aggregate	0,083	0,0052	101301005	2,32E-02	1,83E-03	3,70E-02	2,70E-03	5,14E-02	1,78E-03	5,61E-02	4,89E-03								
aggregate	0,083	0,0052	101301007	2,32E-02	1,83E-03	3,70E-02	2,70E-03	5,14E-02	1,78E-03	5,61E-02	4,89E-03								
aggregate	0,083	0,0052	101301009	2,32E-02	1,83E-03	3,70E-02	2,70E-03	5,14E-02	1,78E-03	5,61E-02	4,89E-03								
cemant-cem1	5,5	0,95	101301203	3,87E+00	9,08E-01	3,71E+00	7,70E-01	2,29E+00	6,98E-01	2,82E+00	8,59E-01								
general concrete	0,75	0,107	101301501	2,70E-01	6,86E-02	3,52E-01	6,60E-02	4,88E-01	8,99E-02	3,52E-01	6,60E-02								
general concrete	0,75	0,107	101301502	2,70E-01	6,86E-02	3,41E-01	8,00E-02	4,88E-01	8,99E-02	3,52E-01	6,60E-02								
concrete-C32-40	0,88	0,132	101301506	7,88E-01	1,38E-01	6,19E-01	1,09E-01	3,16E-01	1,36E-01	4,32E-01	1,05E-01								
steel-bar and rod-recycled	8,8	0,45	101301704	6,40E+00	6,73E-01	2,81E+01	2,07E+00	1,22E+01	7,79E-01	6,53E+00	5,27E-01								
steel-bar and rod-recycled	8,8	0,45	101301705	6,40E+00	6,73E-01	2,81E+01	2,07E+00	1,22E+01	7,79E-01	6,53E+00	5,27E-01								
steel-bar and rod-recycled	8,8	0,45	101301707	6,34E+00	6,66E-01	1,57E+00	2,09E-01	6,25E+00	5,11E-01	9,23E+00	5,96E-01								
bricks-general	3	0,24	101302001	2,12E+00	2,41E-01	2,10E+00	1,44E-01												
autoclaved aerated blocks	3,5	0,31	101302505	4,47E+00	5,09E-01	4,87E+00	6,03E-01	2,63E+00	3,94E-01	2,62E+00	4,80E-01								
autoclaved aerated blocks	3,5	0,31	101302511	4,47E+00	5,09E-01	4,87E+00	6,03E-01	2,63E+00	3,94E-01	2,62E+00	4,80E-01								
autoclaved aerated blocks	3,5	0,31	101302513	4,47E+00	5,09E-01	4,87E+00	6,03E-01	2,63E+00	3,94E-01	2,62E+00	4,80E-01								
mortar (1:5-cement:sand)	0,97	0,156	101302790	1,03E+00	1,54E-01	2,30E+00	4,08E-01	1,53E+00	2,41E-01	1,29E+00	2,26E-01								
bricks-general	3	0,24	101304005	3,90E+00	2,50E-01	4,59E+00	3,14E-01	3,66E+00	2,42E-01										
timber-general	10	0,72	101304502	9,07E+00	4,61E-01	7,27E+00	4,42E-01	1,98E+00	1,00E-01	1,85E+00	-1,30E+00								
timber-general	10	0,72	101304504	9,07E+00	4,61E-01	7,27E+00	4,42E-01	1,98E+00	1,00E-01	1,85E+00	-1,30E+00								
timber-plywood	15	0,45	101304606	3,10E+00	-5,32E-01	2,04E+01	9,73E-01												
timber-general	10	0,72	101304607	3,10E+00	-5,32E-01	2,89E+01	5,72E-01												
lime-general	5,3	0,78	101306001	8,49E+00	1,10E+00	1,23E+01	1,40E+00												
veri yok			101309991	veri yok															
veri yok			101601003	veri yok															
veri yok			101601024	veri yok															
veri yok			101601025	veri yok															
veri yok			101601026	veri yok															
veri yok			101601030	veri yok															
timber-sawn hardwood	10,4	0,87	101701202	1,07E+01	5,75E-01	1,33E+01	7,67E-01	5,58E+00	3,41E-01	9,67E+00	6,23E-01								
timber-mdf	11	0,39	101702002	1,18E+01	2,52E-03	9,52E+00	5,86E-01	6,48E+00	3,21E-01	1,19E+01	4,01E-01								
veri yok			101702501	6,56E+01	2,64E+00														
aluminium extruded	154	9,08	102002002	1,32E+02	1,31E-01	2,38E+02	1,03E+01	9,56E+01	9,91E+00										
steel-coil glv sheet-%59 recycled	22,6	1,54	102003052	1,43E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00								
aluminium extruded	154	9,08	102003053	1,15E+02	1,16E-01	1,54E+02	8,02E+00	8,70E+01	7,43E+00	1,14E+02	9,82E+00								
steel-coil glv sheet-%59 recycled	22,6	1,54	102003055	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00								
steel-coil glv sheet-%59 recycled	22,6	1,54	102003056	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00								
steel-coil glv sheet-%59 recycled	22,6	1,54	102003057	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00								
steel-coil glv sheet-%59 recycled	22,6	1,54	102003129	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00								
steel-coil glv sheet-%59 recycled	22,6	1,54	102003136	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00								
steel-coil glv sheet-%59 recycled	22,6	1,54	102003137	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00								
steel-coil glv sheet-%59 recycled	22,6	1,54	102003141	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00								
steel-coil glv sheet-%59 recycled	22,6	1,54	102003145	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00								
steel-coil glv sheet-%59 recycled	22,6	1,54	102003147	1,45E+01	9,82E-01	3,62E+01	3,21E+00	2,52E+01	2,39E+00	2,79E+01	2,91E+00								
marble tile-stone	3,33	0,21	102401701	5,65E+00	4,17E-01	1,47E+00	1,09E-01	1,37E+01	7,77E-01	1,92E+01	1,10E+00								
veri yok			102402000	veri yok															
ceramics-general	10	0,7	102403352	1,00E+01	6,17E-01	1,22E+01	8,08E-01	9,31E+00	5,66E-01	7,37E+00	5,28E-01								
ceramics-general	10	0,7	102403456	1,51E+01	9,01E-01	1,22E+01	8,08E-01	8,40E+00	6,12E-01										
plaster-general	1,8	0,13	102405506	1,13E+00	8,10E-02	1,56E+00	1,07E-01	1,31E+00	9,02E-02	4,92E+00	2,86E-01								
plaster-general	1,8	0,13	102405507	1,29E+00	8,70E-02	2,20E+00	1,20E-01	1,90E+00	1,40E-01	2,14E+00	1,42E-01								
plaster-general	1,8	0,13	102405508	1,06E+00	6,90E-02	2,14E+00	1,42E-01	1,54E+00	1,02E-01										

Çizelge L.4 (devam) : Konut ICE-EPD karşılaştırması için kg referans birimine göre EE-EC değerleri.

ICE (kg Birim)			Tez EPD (kg birim)				EPD1 (kg Birim)		EPD2 (kg Birim)		EPD3 (kg Birim)		EPD4 (kg Birim)		EPD5 (kg Birim)		EPD6 (kg Birim)		EPD7 (kg Birim)			
Envanter ismi	EE (kg)	EC (kg)	Poz.no	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)	EE (kg)	EC (kg)			
waterborne paint paint-general veri yok veri yok veri yok veri yok veri yok	59	2,54	103001041	1,95E+01	1,29E+00	2,04E+01	1,31E+00	2,07E+01	1,69E+00	3,65E+01	2,44E+00	2,36E+01	1,72E+00									
	70	2,91	103001053	1,69E+01	1,09E+00	2,34E+00	2,33E-01	1,23E+01	1,04E+00													
			103001171	2,00E+01	1,08E+00	1,36E+01	5,62E-01	1,26E+01	8,81E-01	2,67E+01	1,39E+00											
			103001172	2,00E+01	1,08E+00	1,36E+01	5,62E-01	1,26E+01	8,81E-01	2,67E+01	1,39E+00											
			102406603	veri yok																		
			103001602	veri yok																		
			103002062	veri yok																		
			103002094	1,85E+00	2,64E-01	4,28E+00	1,74E-01															
			103002191	1,76E+01	9,64E-01	6,40E+00	5,71E-01	1,92E+00	2,35E-01	1,60E+00	2,53E-01											
		5,1	0,764	103002201	1,67E+00	3,06E-01	6,40E+00	5,71E-01	1,92E+00	2,35E-01	1,60E+00	2,53E-01										
cement(%40)-lime(%60) cement(%40)-lime(%60) cement(%35)-sand(%65) insulation-glasswool insulation-rockwool insulation-expanded polystyrene insulation-expanded polystyrene veri yok veri yok	5,1	0,764	103002203	5,81E+00	5,34E-01	6,40E+00	5,71E-01	1,92E+00	2,35E-01	1,60E+00	2,53E-01											
		0,262	103002231	2,14E+00	2,55E-01	4,59E+00	4,39E-01	6,36E+00	6,22E-01	1,60E+00	2,53E-01											
	28	1,35	103301023	2,35E+01	1,22E+00	2,90E+01	1,93E+00	3,40E+01	2,04E+00													
	28	1,35	103301541	3,09E+00	2,06E-01	1,33E+01	9,47E-01															
	88,6	3,29	103302242	9,32E+01	4,28E+00	5,07E+01	2,33E+00	6,89E+01	2,55E+00													
	88,6	3,29	103302262	9,32E+01	4,28E+00	6,91E+01	2,56E+00	5,08E+01	2,34E+00													
			103302351	2,48E+01	1,88E+00																	
			103302501	3,87E+01	1,67E+00																	
		1,33	0,221	103302503	1,92E+00	2,39E-01	5,79E+00	5,19E-01	2,44E+00	2,77E-01												
		1,33	0,221	103302505	2,14E+00	2,55E-01	5,79E+00	5,19E-01	2,44E+00	2,77E-01												
plastics-general polyethylene membrane bitumen veri yok felt carpet plastics-calandared sheet pvc veri yok	83,1	2,54	103303501	8,56E+01	3,25E+00	5,09E+02	3,06E+01															
	134	4,2	103305171	1,42E+01	4,95E-01	8,60E+01	2,40E+00	5,84E+01	1,19E+00	4,60E+01	9,03E-01											
	51	0,49	103305291	2,92E+01	1,29E-01	2,94E+01	9,41E-01	3,83E+01	1,05E+00													
			103305498																			
	19	0,97	103306004	6,00E+01	3,84E+00	8,58E+00	7,38E-01															
	68,6	3,19	103306013	2,87E+01	1,49E+00	9,47E+01	3,72E+00	4,07E+01	1,39E+00													
			103306442																			
	23,5	1,35	103801581	1,62E+01	1,30E+00	1,73E+01	1,25E+00	2,39E+01	1,61E+00	4,76E+00	1,08E+00											
	77,2	3,1	103809981	4,81E+01	2,28E+00	7,08E+01	4,75E+00	6,48E+01	3,70E+00													
		77,2	3,1	104001001	5,53E+01	2,95E+00	5,08E+01	2,30E+00	7,12E+01	3,57E+00	5,34E+01	2,70E+00										
pvc general pvc general rubber veri yok steel-coil glv. sheet-%59 recycled steel-coil glv. sheet-%59 recycled steel-coil glv. sheet-%59 recycled steel-coil glv. sheet-%59 recycled polypropylene Injection moulding steel bar and veri yok veri yok paperboard calendered sheets pvc	77,2	3,1	104001005	5,53E+01	2,95E+00	5,08E+01	2,30E+00	7,12E+01	3,57E+00	5,34E+01	2,70E+00											
	91	2,85	104001021	7,75E+01	3,64E+00	1,19E+02	5,49E+00															
			104001022																			
	22,6	1,54	104201006	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00													
	22,6	1,54	104201007	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00													
	22,6	1,54	104201008	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00													
	22,6	1,54	104201009	3,15E+01	2,81E+00	4,41E+01	3,74E+00	6,87E+01	5,58E+00													
	66,25	2,945	104201012	2,48E+01	1,88E+00	1,14E+01	8,11E-01															
			104201011	2,48E+01	1,88E+00	1,14E+01	8,11E-01															
			104201302	7,70E+00	5,20E-01	2,39E+01	1,03E+00															
		104201305	7,70E+00	5,20E-01	2,39E+01	1,03E+00																
	24,8	1,29	104201501	1,64E+01	1,58E+00	6,70E+00	5,17E-01															
	68,6	3,19	104201513	2,39E+01	1,24E+00	7,21E+01	2,93E+00															

Ek M: Derslik Yapısı YDA Alternatif Malzeme Analizi Tabloları.

Çizelge M.1 : Derslik binası Maliyet performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	Maliyet Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	Maliyet Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
MALİYET	66	13,25%	151601004	-	73	10,02%	155401256	-
	41	11,72%	151501007	-	66	9,90%	151601004	-
	58	7,31%	151801002	-	13	8,96%	154601010	13/Alt-2
	65	6,88%	151601003	-	41	8,76%	151501007	-
	13	6,00%	154601010	13/Alt-2	10	5,76%	153901008	10/Alt-2
	18	4,03%	111111111	-	58	5,46%	151801002	-
	10	3,85%	153901008	10/Alt-2	65	5,15%	151601003	-
	25	3,69%	153251001	25/Alt-4	74	5,06%	155401325	-
	2	3,47%	155351026	2/Alt-6	18	3,02%	111111111	-
	59	2,73%	151851006	-	25	2,75%	153251001	25/Alt-4
	44	2,70%	152251010	44/Alt-4	2	2,59%	155351026	2/Alt-6
	62	2,23%	153001001	-	93	2,21%	154701419	93/Alt-1
	52	2,06%	152551006	-	59	2,04%	151851006	-
	5	1,97%	27.525/A2	-	44	2,02%	152251010	44/Alt-4
	45	1,73%	152251012	45/Alt-2	62	1,67%	153001001	-
	61	1,62%	151851014	-	52	1,54%	152551006	-
	17	1,61%	102002401	17/Alt-5	76	1,49%	153901070	76/Alt-1
	93	1,48%	154701419	93/Alt-1	5	1,47%	27.525/A2	-
	73	1,34%	155401256	-	45	1,30%	152251012	45/Alt-2
	29	1,11%	Özel tarif	-	61	1,21%	151851014	-

Çizelge M.2 : Derslik binası GWP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	GWP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	GWP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
GWP	41	42,97%	151501007	-	41	37,29%	151501007	-
	13	6,37%	154601010	13/Alt-2	13	11,06%	154601010	13/Alt-2
	66	5,51%	151601004	-	10	5,42%	153901008	10/Alt-1
	2	5,27%	155351026	2/Alt-1	66	4,78%	151601004	-
	44	5,15%	152251010	44/Alt-3	2	4,57%	155351026	2/Alt-1
	45	3,47%	152251012	45/Alt-3	44	4,47%	152251010	44/Alt-3
	10	3,13%	153901008	10/Alt-1	45	3,01%	152251012	45/Alt-3
	65	2,80%	151601003	-	65	2,43%	151601003	-
	39	2,58%	151501004	-	39	2,23%	151501004	-
	5	2,50%	27.525/A2	-	5	2,17%	27.525/A2	-
	18	2,26%	111111111	-	18	1,96%	111111111	-
	58	1,58%	151801002	58/Alt-2	58	1,37%	151801002	58/Alt-2
	17	1,40%	102002401	17/Alt-2	73	1,25%	155401256	73/Alt-1
	91	1,15%	152501001	-	17	1,21%	102002401	17/Alt-2
	24	1,09%	103303101	24/Alt-2	76	1,10%	153901070	-
	25	1,06%	153251001	25/Alt-4	91	1,00%	152501001	-
	62	0,88%	153001001	-	93	1,00%	154701419	93/Alt-1
	6	0,72%	152801011	-	24	0,94%	103303101	24/Alt-2
	11	0,69%	154201002	11/Alt-2	25	0,92%	153251001	25/Alt-4
	76	0,63%	153901070	76/Alt-2	12	0,91%	154601005	12/Alt-2

Çizelge M.3 : Derslik binası ODP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	ODP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	ODP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
ODP	41	26,27%	151501007	-	41	20,67%	151501007	-
	13	11,25%	154601010	13/Alt-2	13	17,70%	154601010	13/Alt-2
	59	7,06%	151851006	-	10	10,27%	153901008	10/Alt-1
	10	6,52%	153901008	10/Alt-1	59	5,55%	151851006	-
	61	4,72%	151851014	-	61	3,71%	151851014	-
	2	4,45%	155351026	2/Alt-6	2	3,50%	155351026	2/Alt-6
	66	4,13%	151601004	-	66	3,25%	151601004	-
	18	3,15%	111111111	-	18	2,48%	111111111	-
	44	3,06%	152251010	44/Alt-4	44	2,40%	152251010	44/Alt-4
	58	2,97%	151801002	58/Alt-3	58	2,34%	151801002	58/Alt-3
	65	2,10%	151601003	-	76	2,08%	153901070	76/Alt-4
	45	2,06%	152251012	45/Alt-2	63	1,67%	155101103	-
	62	1,63%	153001001	-	65	1,65%	151601003	-
	17	1,45%	102002401	17/Alt-5	45	1,62%	152251012	45/Alt-2
	39	1,39%	151501004	-	73	1,54%	155401256	-
	60	1,34%	151851013	-	12	1,44%	154601005	12/Alt-2
	76	1,32%	153901070	76/Alt-4	62	1,28%	153001001	-
	52	1,29%	152551006	-	93	1,16%	154701419	93/Alt-1
	63	1,06%	155101103	-	17	1,14%	102002401	17/Alt-5
	12	0,92%	154601005	12/Alt-2	39	1,09%	151501004	-

Çizelge M.4 : Derslik binası AP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	AP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	AP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
AP	41	26,81%	151501007	-	41	22,22%	151501007	-
	13	11,00%	154601010	13/Alt-2	13	18,22%	154601010	13/Alt-2
	2	9,86%	155351026	2/Alt-1	2	8,17%	155351026	2/Alt-1
	66	7,24%	151601004	-	66	6,00%	151601004	-
	18	3,92%	111111111	-	18	3,25%	111111111	-
	65	3,68%	151601003	-	65	3,05%	151601003	-
	44	3,68%	152251010	44/Alt-4	44	3,05%	152251010	44/Alt-4
	58	3,27%	151801002	58/Alt-3	10	2,89%	153901008	10/Alt-1
	45	2,48%	152251012	45/Alt-3	58	2,71%	151801002	58/Alt-3
	17	2,48%	102002401	17/Alt-2	45	2,05%	152251012	45/Alt-3
	25	1,88%	153251001	25/Alt-4	17	2,05%	102002401	17/Alt-2
	62	1,82%	153001001	-	12	1,64%	154601005	12/Alt-2
	10	1,74%	153901008	10/Alt-1	73	1,63%	155401256	-
	6	1,53%	152801011	-	25	1,56%	153251001	25/Alt-4
	39	1,43%	151501004	-	62	1,51%	153001001	-
	11	1,22%	154201002	11/Alt-2	6	1,27%	152801011	-
	5	1,18%	27.525/A2	-	74	1,25%	155401325	-
	12	0,99%	154601005	12/Alt-2	39	1,18%	151501004	-
	36	0,85%	151501001	-	11	1,01%	154201002	11/Alt-2
	59	0,77%	151851006	-	5	0,98%	27.525/A2	-

Çizelge M.5 : Derslik binası EP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	EP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	EP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
EP	41	36,28%	151501007	-	41	29,98%	151501007	-
	13	12,92%	154601010	13/Alt-2	13	21,35%	154601010	13/Alt-2
	2	8,08%	155351026	2/Alt-6	2	6,68%	155351026	2/Alt-6
	39	4,66%	151501004	-	39	3,85%	151501004	-
	44	4,59%	152251010	44/Alt-3	44	3,79%	152251010	44/Alt-3
	18	4,01%	111111111	-	18	3,31%	111111111	-
	45	3,09%	152251012	45/Alt-3	10	2,57%	153901008	10/Alt-2
	58	2,12%	151801002	58/Alt-3	45	2,55%	152251012	45/Alt-3
	17	1,89%	102002401	17/Alt-2	58	1,76%	151801002	58/Alt-3
	10	1,56%	153901008	10/Alt-2	73	1,58%	155401256	-
	25	1,32%	153251001	25/Alt-4	17	1,56%	102002401	17/Alt-2
	34	1,29%	151251004	-	12	1,28%	154601005	12/Alt-2
	36	1,27%	151501001	-	25	1,09%	153251001	25/Alt-4
	5	1,25%	27.525/A2	-	34	1,06%	151251004	-
	66	1,17%	151601004	-	36	1,05%	151501001	-
	62	1,15%	153001001	-	74	1,04%	155401325	-
	11	1,00%	154201002	11/Alt-2	5	1,03%	27.525/A2	-
	6	0,90%	152801011	-	66	0,97%	151601004	-
	37	0,85%	151501002	-	62	0,95%	153001001	-
	1	0,81%	155301904	-	93	0,88%	154701419	93/Alt-1

Çizelge M.6 : Derslik binası POCP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	POCP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	POCP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
POCP	13	14,27%	154601010	13/Alt-2	13	22,37%	154601010	13/Alt-2
	66	11,33%	151601004	-	66	8,88%	151601004	-
	2	8,90%	155351026	2/Alt-2	2	6,98%	155351026	2/Alt-2
	41	7,57%	151501007	-	41	5,93%	151501007	-
	52	5,98%	152551006	52/Alt-7	10	5,04%	153901008	10/Alt-1
	65	5,77%	151601003	-	52	4,68%	152551006	-
	18	5,19%	111111111	-	65	4,52%	151601003	-
	58	4,65%	151801002	58/Alt-3	18	4,06%	111111111	-
	17	3,69%	102002401	17/Alt-2	58	3,64%	151801002	58/Alt-3
	10	3,22%	153901008	10/Alt-1	17	2,89%	102002401	17/Alt-2
	62	2,57%	153001001	-	73	2,66%	155401256	-
	36	2,02%	151501001	-	62	2,02%	153001001	-
	5	1,75%	27.525/A2	-	74	1,89%	155401325	-
	59	1,61%	151851006	-	12	1,86%	154601005	12/Alt-2
	80	1,52%	154101303	-	36	1,58%	151501001	-
	91	1,47%	152501001	-	5	1,37%	27.525/A2	-
	37	1,35%	151501002	-	59	1,26%	151851006	-
	12	1,18%	154601005	12/Alt-2	80	1,19%	154101303	-
	38	1,02%	151501003	-	91	1,15%	152501001	-
	44	0,92%	152251010	44/Alt-4	37	1,06%	151501002	-
					93	1,04%	154701419	93/Alt-1
					76	1,02%	153901070	76/Alt-2
					38	0,80%	151501003	-
					44	0,72%	152251010	44/Alt-4

Çizelge M.7 : Derslik binası ADPE performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	ADPE Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	ADPE Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
ADPE	13	35,8463%	154601010	13/Alt-2	13	48,93%	154601010	13/Alt-2
	25	16,0826%	153251001	25/Alt-4	25	10,98%	153251001	25/Alt-4
	18	8,0846%	111111111	-	18	5,52%	111111111	-
	2	7,3162%	155351026	2/Alt-1	2	4,99%	155351026	2/Alt-1
	41	7,1315%	151501007	-	41	4,87%	151501007	-
	58	5,1031%	151801002	58/Alt-3	12	4,05%	154601005	12/Alt-2
	62	3,1320%	153001001	-	58	3,48%	151801002	58/Alt-3
	12	2,9683%	154601005	12/Alt-2	10	3,10%	153901008	10/Alt-1
	10	2,2711%	153901008	10/Alt-1	62	2,14%	153001001	-
	55	0,9749%	153401003	55/Alt-3	74	1,37%	155401325	-
	66	0,9098%	151601004	-	73	1,26%	155401256	-
	17	0,9038%	102002401	17/Alt-3	55	0,67%	153401003	55/Alt-3
	5	0,8108%	27.525/A2	-	76	0,63%	153901070	76/Alt-4
	8	0,6436%	154651008	-	66	0,62%	151601004	-
	1	0,5962%	155301904	-	17	0,62%	102002401	17/Alt-3
	65	0,4631%	151601003	-	5	0,55%	27.525/A2	-
	76	0,4604%	153901070	76/Alt-4	8	0,44%	154651008	-
	7	0,4546%	154651004	-	1	0,41%	155301904	-
	3	0,3890%	155351031	3/Alt-1	65	0,32%	151601003	-
	24	0,3832%	103303101	24/Alt-1	7	0,31%	154651004	-

Çizelge M.8 : Derslik binası ADPF performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	ADPF Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	ADPF Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
ADPF	41	26,55%	151501007	-	41	20,86%	151501007	-
	13	8,58%	154601010	13/Alt-2	13	13,48%	154601010	13/Alt-2
	2	5,76%	155351026	2/Alt-1	10	8,66%	153901008	10/Alt-1
	66	5,72%	151601004	-	2	4,53%	155351026	2/Alt-1
	10	5,51%	153901008	10/Alt-1	66	4,49%	151601004	-
	6	4,19%	152801011	-	6	3,29%	152801011	-
	44	3,75%	152251010	44/Alt-2	44	2,95%	152251010	44/Alt-2
	18	3,58%	111111111	-	18	2,82%	111111111	-
	58	3,27%	151801002	58/Alt-2	58	2,57%	151801002	58/Alt-2
	65	2,91%	151601003	-	65	2,29%	151601003	-
	45	2,53%	152251012	45/Alt-2	72	2,13%	155401255	-
	24	2,27%	103303101	24/Alt-2	73	2,01%	155401256	-
	17	2,23%	102002401	17/Alt-2	45	1,99%	152251012	45/Alt-2
	5	1,85%	27.525/A2	-	24	1,78%	103303101	24/Alt-2
	62	1,79%	153001001	-	76	1,76%	153901070	76/Alt-2
	39	1,66%	151501004	-	17	1,75%	102002401	17/Alt-2
	52	1,30%	152551006	-	48	1,73%	153301003	-
	76	1,12%	153901070	76/Alt-2	71	1,60%	155401112	-
	48	1,10%	153301003	-	5	1,45%	27.525/A2	-
	25	1,03%	153251001	25/Alt-3	62	1,41%	153001001	-

Ek N: Konut Yapısı YDA Alternatif Malzeme Analizi Tabloları.

Çizelge N.1 : Konut binası Maliyet performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	Maliyet Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	Maliyet Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
MALİYET	37	13,46%	151801003	37/Alt-1	10	15,77%	155401256	-
	34	12,64%	151601003	-	21	10,74%	155401325	-
	36	11,58%	151501006	-	37	7,99%	151801003	37/Alt-1
	35	5,82%	151601004	-	34	7,51%	151601003	-
	33	3,62%	152251012	33/Alt-3	9	7,05%	155401256	9/Alt-1
	47	2,97%	154701419	47/Alt-1	36	6,88%	151501006	-
	48	2,88%	154551001	48/Alt-2	47	3,53%	154701419	47/Alt-1
	50	2,68%	155101103	-	35	3,46%	151601004	-
	10	2,66%	155401256	-	50	3,18%	155101103	-
	31	2,28%	152251004	31/Alt-1	11	2,55%	153801056	-
	19	2,24%	152751101	-	25	2,54%	153051003	-
	32	2,17%	152251010	32/Alt-4	13	2,23%	154901002	13/Alt-1
	11	2,15%	153801056	-	49	2,16%	154601001	49/Alt-1
	24	2,12%	153001001	-	12	2,15%	153751052	-
	5	1,99%	152801011	-	33	2,15%	152251012	33/Alt-3
	7	1,84%	152801012	-	48	1,71%	154551001	48/Alt-2
	21	1,81%	155401325	-	31	1,35%	152251004	31/Alt-1
	12	1,81%	153751052	-	19	1,33%	152751101	-
	13	1,88%	154901002	13/Alt-1	32	1,29%	152251010	32/Alt-4
	49	1,82%	154601001	49/Alt-1	24	1,26%	153001001	-

Çizelge N.2 : Konut binası GWP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	GWP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	GWP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
GWP	36	39,98%	151501006	-	36	34,09%	151501006	-
	33	7,46%	152251012	33/Alt-2	33	6,36%	152251012	33/Alt-2
	3	5,46%	191002423	-	3	4,66%	191002423	-
	34	5,29%	151601003	-	34	4,51%	151601003	-
	32	4,26%	152251010	32/Alt-3	49	4,13%	154601001	49/Alt-1
	31	3,71%	152251004	31/Alt-2	11	3,73%	153801056	-
	8	2,60%	155351027	8/Alt-2	32	3,63%	152251010	32/Alt-3
	35	2,49%	151601004	-	31	3,16%	152251004	31/Alt-2
	49	2,42%	154601001	49/Alt-1	12	2,91%	153751052	12/Alt-2
	48	2,38%	154551001	48/Alt-2	10	2,50%	155401256	-
	11	2,19%	153801056	-	25	2,44%	153051003	-
	5	1,97%	152801011	-	21	2,38%	155401325	-
	19	1,84%	152751101	-	8	2,22%	155351027	8/Alt-2
	12	1,71%	153751052	12/Alt-2	35	2,12%	151601004	-
	46	1,46%	152201001	-	47	2,03%	154701419	47/Alt-1
	15	1,45%	152501001	-	48	2,03%	154551001	48/Alt-2
	2	1,32%	152751105	-	5	1,68%	152801011	-
	18	1,26%	153351601	18/Alt-1	19	1,57%	152751101	-
	47	1,19%	154701419	47/Alt-1	46	1,24%	152201001	-
	25	0,95%	153051003	-	15	1,24%	152501001	-

Çizelge N.3 : Konut binası ODP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	ODP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	ODP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
ODP	36	27,77%	151501006	-	36	20,87%	151501006	-
	48	15,78%	154551001	48/Alt-2	48	11,86%	154551001	48/Alt-2
	50	6,76%	155101103	-	50	10,16%	155101103	-
	33	4,76%	152251012	33/Alt-3	11	6,95%	153801056	-
	11	4,62%	153801056	-	49	6,77%	154601001	49/Alt-1
	49	4,51%	154601001	49/Alt-1	12	4,92%	153751052	12/Alt-2
	34	4,27%	151601003	-	33	3,57%	152251012	33/Alt-3
	12	3,27%	153751052	12/Alt-2	10	3,22%	155401256	-
	32	2,72%	152251010	32/Alt-4	34	3,21%	151601003	-
	31	2,37%	152251004	31/Alt-1	21	2,96%	155401325	-
	8	2,36%	155351027	8/Alt-6	47	2,46%	154701419	47/Alt-1
	35	2,01%	151601004	-	13	2,28%	154901002	-
	5	1,90%	152801011	-	32	2,04%	152251010	32/Alt-4
	24	1,71%	153001001	-	31	1,78%	152251004	31/Alt-1
	47	1,64%	154701419	47/Alt-1	8	1,77%	155351027	8/Alt-6
	13	1,52%	154901002	-	35	1,51%	151601004	-
	3	1,31%	191002423	-	9	1,44%	155401256	-
	19	0,91%	152751101	-	5	1,43%	152801011	-
	41	0,91%	152551006	-	24	1,29%	153001001	-
	4	0,73%	191002433	-	3	0,99%	191002423	-

Çizelge N.4 : Konut binası AP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	AP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	AP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
AP	36	28,08%	151501006	-	36	22,80%	151501006	-
	34	7,74%	151601003	-	49	8,03%	154601001	49/Alt-1
	33	5,92%	152251012	33/Alt-3	34	6,29%	151601003	-
	8	5,41%	155351027	8/Alt-2	33	4,81%	152251012	33/Alt-3
	49	4,95%	154601001	49/Alt-1	8	4,39%	155351027	8/Alt-2
	48	4,93%	154551001	48/Alt-2	48	4,00%	154551001	48/Alt-2
	5	4,69%	152801011	-	5	3,81%	152801011	-
	35	3,64%	151601004	-	21	3,74%	155401325	-
	32	3,38%	152251010	32/Alt-4	10	3,63%	155401256	-
	31	2,95%	152251004	31/Alt-2	35	2,95%	151601004	-
	3	2,58%	191002423	-	32	2,74%	152251010	32/Alt-4
	37	2,32%	151801003	37/Alt-3	11	2,46%	153801056	-
	24	1,98%	153001001	-	31	2,39%	152251004	31/Alt-2
	20	1,88%	153401004	20/Alt-3	3	2,10%	191002423	-
	11	1,52%	153801056	-	50	2,07%	155101103	-
	18	1,36%	153351601	18/Alt-1	25	2,06%	153051003	-
	19	1,35%	152751101	-	37	1,89%	151801003	37/Alt-3
	50	1,27%	155101103	-	13	1,73%	154901002	13/Alt-1
	15	1,08%	152501001	-	47	1,65%	154701419	47/Alt-1
	13	1,07%	154901002	13/Alt-1	9	1,62%	155401256	-

Çizelge N.5 : Konut binası EP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	EP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	EP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
EP	36	40,95%	151501006	-	36	33,55%	151501006	-
	33	7,99%	152251012	33/Alt-2	49	7,72%	154601001	49/Alt-1
	8	4,80%	155351027	8/Alt-6	33	6,55%	152251012	33/Alt-2
	49	4,71%	154601001	49/Alt-1	8	3,93%	155351027	8/Alt-6
	32	4,56%	152251010	32/Alt-3	10	3,83%	155401256	-
	48	4,24%	154551001	48/Alt-2	32	3,74%	152251010	32/Alt-3
	31	3,97%	152251004	31/Alt-2	48	3,48%	154551001	48/Alt-2
	3	3,07%	191002423	-	21	3,41%	155401325	-
	5	2,98%	152801011	-	31	3,26%	152251004	31/Alt-2
	11	1,77%	153801056	11/Alt-1	11	2,91%	153801056	11/Alt-1
	12	1,76%	153751052	12/Alt-1	12	2,89%	153751052	12/Alt-1
	19	1,51%	152751101	-	3	2,51%	191002423	-
	34	1,36%	151601003	-	5	2,44%	152801011	-
	24	1,35%	153001001	-	47	2,17%	154701419	47/Alt-1
	47	1,33%	154701419	47/Alt-1	9	1,71%	155401256	-
	15	1,23%	152501001	-	50	1,40%	155101103	-
	2	1,06%	152751105	-	25	1,25%	153051003	-
	50	0,85%	155101103	-	19	1,24%	152751101	-
	37	0,83%	151801003	37/Alt-3	34	1,11%	151601003	-
	40	0,83%	151501002	-	24	1,11%	153001001	-

Çizelge N.6 : Konut binası POCP performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	POCP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	POCP Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
POCP	34	12,76%	151601003	-	34	9,20%	151601003	-
	36	8,29%	151501006	-	49	8,79%	154601001	49/Alt-1
	48	6,31%	154551001	48/Alt-2	36	5,98%	151501006	-
	49	6,10%	154601001	49/Alt-1	10	5,85%	155401256	-
	35	5,99%	151601004	-	21	5,60%	155401325	-
	8	5,13%	155351027	8/Alt-3	48	4,55%	154551001	48/Alt-2
	41	4,58%	152551006	-	35	4,32%	151601004	-
	3	3,84%	191002423	-	11	4,09%	153801056	-
	24	2,95%	153001001	-	8	3,70%	155351027	8/Alt-3
	11	2,83%	153801056	-	12	3,44%	153751052	12/Alt-2
	19	2,75%	152751101	-	41	3,30%	152551006	-
	18	2,71%	153351601	18/Alt-1	13	3,03%	154901002	-
	12	2,38%	153751052	12/Alt-2	50	2,92%	155101103	-
	15	2,16%	152501001	-	3	2,77%	191002423	-
	13	2,10%	154901002	-	9	2,61%	155401256	-
	50	2,02%	155101103	-	47	2,32%	154701419	47/Alt-1
	2	1,97%	152751105	-	22	2,23%	153301007	-
	5	1,80%	152801011	-	24	2,13%	153001001	-
	20	1,69%	153401004	20/Alt-3	19	1,98%	152751101	-
	47	1,61%	154701419	47/Alt-1	18	1,96%	153351601	18/Alt-1
	33	1,56%	152251012	33/Alt-3	20	1,22%	153401004	20/Alt-3
					33	1,12%	152251012	33/Alt-3

Çizelge N.7 : Konut binası ADPE performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	ADPE Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	ADPE Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
ADPE	17	26,74%	152601002	-	49	21,71%	154601001	49/Alt-1
	37	17,03%	151801003	37/Alt-3	17	20,17%	152601002	-
	49	14,39%	154601001	49/Alt-1	37	12,84%	151801003	37/Alt-3
	48	9,80%	154551001	48/Alt-2	48	7,39%	154551001	48/Alt-2
	36	4,40%	151501006	-	21	4,87%	155401325	-
	8	4,22%	155351027	8/Alt-2	11	3,57%	153801056	11/Alt-1
	24	3,59%	153001001	-	10	3,32%	155401256	-
	11	2,36%	153801056	11/Alt-1	36	3,31%	151501006	-
	7	2,23%	152801012	-	8	3,18%	155351027	8/Alt-2
	20	2,18%	153401004	20/Alt-3	24	2,71%	153001001	-
	4	1,75%	191002433	-	7	1,68%	152801012	-
	34	1,02%	151601003	-	20	1,64%	153401004	20/Alt-3
	50	1,02%	155101103	-	50	1,54%	155101103	-
	51	0,69%	155101001	-	9	1,48%	155401256	-
	21	0,65%	155401325	-	25	1,35%	153051003	-
	25	0,60%	153051003	-	4	1,32%	191002433	-
	5	0,50%	152801011	-	51	1,04%	155101001	-
	33	0,49%	152251012	33/Alt-3	34	0,77%	151601003	-
	35	0,48%	151601004	-	47	0,69%	154701419	47/Alt-3
	3	0,47%	191002423	-	13	0,62%	154901002	13/Alt-1

Çizelge N.8 : Konut binası ADPF performans göstergesini en çok etkileyen iş kalemleri.

	A1-2-3-5 yaşam dönemi				A1-2-3-5/B3-4-5 yaşam dönemi			
	Sıra No	ADPF Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No	Sıra No	ADPF Etki Yüzdesi	Poz no	Önerilen Alt.No
ADPF	36	24,14%	151501006	-	36	18,78%	151501006	-
	5	11,20%	152801011	-	5	8,72%	152801011	-
	34	5,34%	151601003	-	11	5,76%	153801056	-
	33	5,28%	152251012	33/Alt-1	12	4,22%	153751052	12/Alt-2
	48	4,77%	154551001	48/Alt-2	49	4,19%	154601001	49/Alt-1
	11	3,70%	153801056	-	34	4,15%	151601003	-
	3	3,61%	191002423	-	33	4,11%	152251012	33/Alt-1
	32	3,01%	152251010	32/Alt-2	10	3,94%	155401256	-
	18	2,92%	153351601	18/Alt-1	25	3,83%	153051003	-
	8	2,78%	155351027	8/Alt-2	48	3,71%	154551001	48/Alt-2
	12	2,71%	153751052	12/Alt-2	21	3,68%	155401325	-
	49	2,69%	154601001	49/Alt-1	3	2,81%	191002423	-
	31	2,62%	152251004	31/Alt-1	50	2,52%	155101103	-
	35	2,51%	151601004	-	47	2,45%	154701419	47/Alt-1
	24	1,70%	153001001	-	32	2,34%	152251010	32/Alt-2
	25	1,64%	153051003	-	18	2,27%	153351601	18/Alt-1
	50	1,62%	155101103	-	8	2,17%	155351027	8/Alt-2
	47	1,57%	154701419	47/Alt-1	13	2,04%	154901002	-
	37	1,39%	151801003	-	31	2,04%	152251004	31/Alt-1
	13	1,31%	154901002	-	35	1,95%	151601004	-

Ek P: Geliştirilen YapıCEA Uygulaması ile Derslik Yapısı Analiz Sonuçları.

Poz Numarası	Birimi	Birim Fiyatı (\$)	GWP-kg CO2 eq	ODP-kg CFC11 eq	AP-molH + eq	EP-Freshwater-kg P eq	POCP-kg NIMVOC eq	ADPE-kg Sb eq	ADPF-MJ
101001012	Sa	2,687	0	0	0	0	0	0	0
101001044	Sa	2,001	0	0	0	0	0	0	0
101001062	Sa	1,941	0	0	0	0	0	0	0
101001062	Sa	1,941	0	0	0	0	0	0	0
101001062	Sa	1,941	0	0	0	0	0	0	0
101309991	m²	0,836	0	0	0	0	0	0	0
101702202	m²	4,18	3,87	6,192E-07	0,02772	0,001386	0,017748	1,2024E-05	65,34
101702202	m²	4,18	3,87	6,192E-07	0,02772	0,001386	0,017748	1,2024E-05	65,34
101702625	m²	49,267	113,0112	1,14048E-05	0,616896	0,02322432	0,2975616	0,000648	1700,352
102002401	m²	21,498	28	2,07E-06	0,206	0,009	0,11	0,000163	409

Şekil P.1 : YapıCEA uygulaması ile derslik yapısı analiz sonuçları.

Poz Numarası	Birimi	Birim Fiyatı (\$)	GWP-kg CO2 eq	ODP-kg CFC11 eq	AP-molH + eq	EP-Freshwater-kg P eq	POCP-kg NMVOC eq	ADPE-kg Sb eq	ADPF-MJ
102406735	m²	32,844	4,9	5,5E-07	0,0393	0,002541	0,004394	5,6E-06	71
102406735	m²	32,844	4,9	5,5E-07	0,0393	0,002541	0,004394	5,6E-06	71
103303101	Kg	2,448	5,308	4,012E-08	0,01234151	0,00062205	0,00317551	1,686E-05	101,5
104201014	Kt	5,195	4,215	7,05E-09	0,036549	0,0005049	0,0031434	0,0007335	47,25
104201014	Kt	5,195	4,215	7,05E-09	0,036549	0,0005049	0,0031434	0,0007335	47,25
111111111	m2	126,899	106,8	1,06E-05	0,77	0,045	0,365	0,00344	1552
151201002	m3	1,474	0	0	0	0	0	0	0
151201102	m3	1,877	0	0	0	0	0	0	0
151251004	m3	3,388	2,745	3,165E-07	0,0249555	0,00337095	0,000991185	1,1805E-06	34,8
151251006	m3	9,555	2,745	3,165E-07	0,0249555	0,00337095	0,000991185	1,1805E-06	34,8

Şekil P.1 (devam) : YapıCEA uygulaması ile derslik yapısı analiz sonuçları.

Poz Numarası	Birimi	Birim Fiyatı (\$)	GWP-kg CO2 eq	ODP-kg CFC11 eq	AP-molH + eq	EP-Freshwater-kg P eq	POCP-kg NMVOC eq	ADPE-kg Sb eq	ADPF-MJ
151501001	m3	53,238	6,43E-06	6,43E-06	0,384	0,0329	0,327	0,000143	637
151501002	m3	56,597	6,43E-06	6,43E-06	0,384	0,0329	0,327	0,000143	637
151501003	m3	59,488	5,36E-06	5,36E-06	0,396	0,0336	0,336	0,000135	561
151501004	m3	60,608	280	1,072E-05	0,6448	0,120219	0,0816439	0,0001755	1654
151501005	m3	62,474	295	1,073E-05	0,6656	0,127248	0,0845676	0,0001727	1719
151501007	m3	68,819	379,5	1,65E-05	0,9828	0,076065	0,0994227	0,0005665	2147
151601001	Ton	1150,675	719,55	3,65925E-05	3,94625	0,03895	2,18325	0,001025	6876,725
151601003	Ton	1154,042	706,65	3,7698E-05	3,8535	0,0357	2,163	0,00105	6716,85
151601004	Ton	1151,952	720,11	3,8413E-05	3,9269	0,03638	2,2042	0,00107	6844,79
151801002	m²	10,314	3,35395	4,48626E-07	0,028774627	0,001069422	0,0146652532	9,73726E-05	63,455

Şekil P.1 (devam) : YapıCEA uygulaması ile derslik yapısı analiz sonuçları.

Poz Numarası ▲	Birimi ▼	Birim Fiyatı (\$) ▼	GWP-kg CO2 eq ▼	ODP-kg CFC11 eq ▼	AP-molH + eq ▼	EP-Freshwater-kg P eq ▼	POCP-kg NMVOC eq ▼	ADPE-kg Sb eq ▼	ADPF-MJ ▼
151851006	m3	1,807	0,61378	4,9945E-07	0,003183	3,56864E-05	0,002389	1,9996E-06	6,5735
151851013	m²	2,423	0,5474	6,1268E-07	0,002808	3,2503E-05	0,00218	1,8386E-06	6,0382
151851014	m3	1,956	0,46968	6,08372E-07	0,0024328	2,8559E-05	0,0018444	1,58988E-06	5,23648
152001001	m²	1,39	0,88725	1,00278E-07	0,00300825	0,000236775	0,0020895	4,6725E-06	12,39
152051004	m	2,834	2,884622222222222	1,218373333333333E-06	0,0150557037037037	0,000885629629629629	0,00786945185185185	4,478755555555555E-05	60,85540740740
152101004	m3	17,318	1,85977	1,698356E-07	0,0103887454	0,00088468908	0,000425789078	6,428488E-06	16,00104
152251004	m²	8,902	21,1806493514309	8,93222597435227E-07	0,0627310727295911	0,00447530085731054	0,005620481215176572	1,06524207795547E-05	141,2651688363
152251010	m²	14,738	42,3612987028618	1,78644519487045E-06	0,125462145459182	0,00895060171462108	0,0112409624315334	2,13048415591095E-05	282,5303376727
152251012	m²	17,599	52,9516233785773	2,23305649358807E-06	0,156827681823977	0,0111882521432764	0,0140512030394168	2,66310519488869E-05	353,1629220909
152251410	m²	31,019	57,6313272727272	1,04260654545455E-08	0,0841754963636364	0,002550189	0,0122991756363636	4,11467818181819E-05	366,6706363636

Şekil P.1 (devam) : YapıCEA uygulaması ile derslik yapısı analiz sonuçları.

Poz Numarası ▲	Birimi	Birim Fiyatı (\$)	GWP-kg CO2 eq	ODP-kg CFC11 eq	AP-molH + eq	EP-Freshwater-kg P eq	POCP-kg NMVOC eq	ADPE-kg Sb eq	ADPF-MJ
152251412	m²	38,303	72,0399290909091	1,30850818181818E-08	0,105221435454545	0,0031877449	0,0153756945454545	5,14374472727273E-05	458,343445454
152451002	m²	0,622	0,634333333333333	3,905E-08	0,00190666666666666	6,534E-05	0,0009625	3,17166666666666E-07	9,9
152501001	m²	3,339	6,47129	2,14193E-07	0,017918131	0,0010795799	0,01222162977	9,289581E-06	28,5376
152551006	m²	9,617	2,5586	6,44665E-07	0,01202	0,000700204	0,0624643	2,05581E-05	83,65
152701002	m²	6,694	1,57209675	1,41679725E-07	0,00662595	0,000269505	0,005396625	1,8121395E-05	36,4911
152701111	m²	29,676	11,501	1,609616E-05	0,06354	0,0009467	0,04471	6,859E-05	210,96
152751101	m²	7,088	8,507702	2,780084E-07	0,0232807378	0,00137298962	0,016134250926	1,22567478E-05	37,15708
152751102	m²	6,393	10,629902	2,1998888E-07	0,02169959988	0,00132079738	0,01264301535	9,42363708E-06	60,28784
152751103	m²	6,585	7,91935	2,187043E-07	0,0193292678	0,0011452351	0,01272160689	9,6069198E-06	38,7656
152751105	m²	4,676	6,42188	2,08496E-07	0,017468932	0,0010189028	0,01220378844	9,268332E-06	27,9112

Şekil P.1 (devam) : YapıCEA uygulaması ile derslik yapısı analiz sonuçları.

Poz Numarası ▲	Birimi ▲	Birim Fiyatı (\$) ▲	GWP-kg CO2 eq ▲	ODP-kg CFC11 eq ▲	AP-molH + eq ▲	EP-Freshwater-kg P eq ▲	POCP-kg NMVOC eq ▲	ADPE-kg Sb eq ▲	ADPF-MJ ▲
15275991	m²	6,017	8,27082	2,59594E-07	0,022588398	0,0013273542	0,01569568266	1,1922498E-05	36,0648
15280101	m²	1,291	1,87175	1,1939E-07	0,01662925	0,000557775	0,0021712	3,6825E-06	100,295
153001001	m²	23,075	13,625879	1,79879325E-06	0,11733277	0,0042392895	0,0595556149	0,0004381815	254,90071
153151002	m	4,384	4,19183352	1,70690541E-06	0,0219053226	0,00124260276	0,01097745012	6,266715E-05	86,4381798
153151101	m	5,424	2,21918	1,16999E-07	0,01683666	0,000138695999999997	0,008711956	0,0001090367999859	28,6289999999
153251001	m²	34,656	15,0510005	8,888573125E-08	0,110272782	0,0044442725095	0,012044314125	0,002045474666125	133,406175
153301003	m²	2,688	2,7133	2,06941E-07	0,01557328	0,001266078	0,006606548	1,7387E-05	142,845
153351503	m²	4,608	6,73749999999998	1,25125E-07	0,02695	0,000846999999999998	0,018375	1,75E-05	146,825
153401003	m²	12,899	10,0028606057377	2,04705771659836E-07	0,0856999942622951	0,000532460823770492	0,0274268904426229	0,000238759026442623	136,464849836
153601005	m	1,603	1,996725	1,414995E-07	0,01603269	0,000703314	0,006660684	1,1453775E-05	19,8015

Şekil P.1 (devam) : YapıCEA uygulaması ile derslik yapısı analiz sonuçları.

Poz Numarası ▲	Birimli ▲	Birim Fiyatı (\$) ▲	GWP-kg CO2 eq ▲	ODP-kg CFC11 eq ▲	AP-molH + eq ▲	EP-Freshwater-kg P eq ▲	POCP-kg NMVOC eq ▲	ADPE-kg Sb eq ▲	ADPF-MJ
153601005	m	1,603	1,996725	1,414995E-07	0,01603269	0,000703314	0,006660684	1,1453775E-05	19,8015
153901008	m²	14,787	18,032	2,67692E-06	0,0417	0,0021334	0,0276	0,00011786	291,216
153901028	m²	17,557	18,032	2,67692E-06	0,0417	0,0021334	0,0276	0,00011786	291,216
153901070	m²	18,842	18,032	2,67692E-06	0,0417	0,0021334	0,0276	0,00011786	291,216
154001005	m²	19,239	52,25885675	1,04842071E-05	0,2174828007	0,00350560328	0,153122026244	0,0001553103657	863,549145
154101103	m²	26,62	43,346888	4,0350196E-06	0,2636381132	0,00692027828	0,193482026244	0,0002255300532	451,78352
154101103	m²	26,62	43,346888	4,0350196E-06	0,2636381132	0,00692027828	0,193482026244	0,0002255300532	451,78352
154101303	m	15,008	18,5654261	1,87168137E-06	0,12086948679	0,002970619691	0,0888296585293	0,00010076106729	207,741144
154101403	m²	38,968	46,880485	4,1467745E-06	0,2730426415	0,00746876035	0,199952532805	0,0002207725665	466,5544
154101503	m²	40,648	46,880485	4,1467745E-06	0,2730426415	0,00746876035	0,199952532805	0,0002207725665	466,5544

Şekil P.1 (devam) : YapıCEA uygulaması ile derslik yapısı analiz sonuçları.

Poz Numarası	Birimli	Birim Fiyatı (\$)	GWP-kg CO2 eq	ODP-kg CFC11 eq	AP-molH + eq	EP-Freshwater-kg P eq	POCP-kg NMVOC eq	ADPE-kg Sb eq	ADPF-MJ
154101603	m²	42,473	47,007985	4,1531745E-06	0,2735426415	0,00749201035	0,200452532805	0,0002308225665	467,6244
154101703	m²	35,188	35,3532895	3,32289215E-06	0,21693829405	0,005620002745	0,1590837611135	0,00019341199155	372,20608
154201001	m²	23,452	31,569188	1,2878396E-06	0,2318001132	0,01091432828	0,038839566244	6,11620532E-05	219,68432
154201002	m²	28,491	31,569188	1,2878396E-06	0,2318001132	0,01091432828	0,038839566244	6,11620532E-05	219,68432
154201002	m²	28,491	31,569188	1,2878396E-06	0,2318001132	0,01091432828	0,038839566244	6,11620532E-05	219,68432
154351206	m	8,075	8,556494	4,108598E-07	0,0963619465999999	0,00433114514	0,00565395942200001	2,01294166E-05	78,5889600000
154401001	m	7,302	5,690855	4,070486285536E-07	0,045748347	0,0021422844	0,01915865872	1,8967692E-05	56,2785
154401004	m	15,927	19,81130666666667	1,34327922199917E-06	0,15977251675	0,00689551765	0,0650470623833333	0,000190638525	199,1675
154601005	Kg	8,471	13,019313990119	1,61284172496667E-06	0,101821079641429	0,00454147885007143	0,04359665946716667	0,00066077141564762	135,263229983
154601010	Kg	8,551	13,661313990119	1,71556172496667E-06	0,0978620796414286	0,00657447885007143	0,0455226946716667	0,00069137341564762	168,433229983

Şekil P.1 (devam) : YapıCEA uygulaması ile derslik yapısı analiz sonuçları.

Poz Numarası ▲	Birimi	Birim Fiyatı (\$)	GWP-kg CO2 eq	ODP-kg CFC11 eq	AP-molH + eq	EP-Freshwater-kg P eq	POCP-kg NMVOC eq	ADFE-kg Sb eq	ADPF-MJ
154651004	Ad	7,091	7,86	1,27E-09	0,070609	0,0012936	0,0061347	0,00159	92,1
154651008	Ad	2,762	4,0176	2,9472E-07	0,04728576	0,001482624	0,004721184	0,0022512	52,32
154651010	Ad	0,463	0,2511	1,842E-08	0,002955536	9,2664E-05	0,000295074	0,0001407	3,27
154701010	m²	34,664	22,5972	2,03082E-06	0,070056	0,004368	0,0392928	0,000138276	276,144
154701419	m²	42,11	24,6972	2,24397E-06	0,078456	0,005418	0,0424428	7,3386E-05	307,644
155101103	m²	44,765	12,9516178333333	1,093285255E-05	0,116095076666667	0,00411515895	0,0629019632	0,000191976828516667	373,85594
155301904	m²	14,617	5,45951967	5,319260291432E-07	0,04009560596	0,004058755691	0,014834788976	0,000112814974	96,76202990
155351026	m²	18,799	42,88781392	2,577055052E-06	0,333230246	0,01562605252	0,1078354392	0,00053589444	429,8691246
155351031	m²	22,718	27,11353166	1,442358221E-06	0,210287688	0,01036239871	0,0543536696	0,00052201662	277,1167198
155401112	m²	4,364	4,5915458124058	3,17890480023188E-07	0,0396756612995246	0,00126198930223583	0,0056483370846451	4,392222675072464E-05	215,982673947

Şekil P.1 (devam) : YapıCEA uygulaması ile derslik yapısı analiz sonuçları.

Poz Numarası	Birimli	Birim Fiyatı (\$)	GWP-kg CO2 eq	ODP-kg CFC11 eq	AP-molH + eq	EP-Freshwater-kg P eq	POCP-kg NMVOC eq	ADPE-kg Sb eq	ADPF-MJ
155401255	m²	2,633	4,0167442	2,62275904E-07	0,03488794	0,001207331276	0,00531	8,267508E-06	205,12451
155401256	m²	2,33	0,3767442	3,6275904E-08	0,00213794	0,000118331276	0,0013216	4,337508E-06	6,12451
155401325	m²	5,713	1,2901996	1,20375401E-07	0,00792685	0,00037947641	0,00455611	2,2912719E-05	20,6074
155501001	Kg	2,681	0,75647	3,91864E-08	0,00423126	4,1074E-05	0,001526448	1,782E-06	7,231114
155501003	Kg	3,347	2,376	1,0637E-13	0,0056199	0,000151008	0,000814242	1,397E-06	25,96
155501202	Kg	2,505	0,7326	3,905E-08	0,003938	3,63E-05	5,06E-05	1,1E-06	6,974
191002423	m3	28,733	304,494	4,83405E-06	0,5372496	0,03369864	0,272304072	0,0001996146	1895,46
191002433	m3	24,053	47,85	6,215E-06	0,2288	0,01155	0,154	0,001727	709,5
485502001	kg	14,068	1,29624	9,4644E-08	0,013992	0,00074844	0,00335904	3,168E-05	19,07796
485502001	kg	14,068	1,29624	9,4644E-08	0,013992	0,00074844	0,00335904	3,168E-05	19,07796
Total :		1292946,5	1944347	0,138	8068,946	461,523	2891,801	17,488	17804536

Şekil P.1 (devam) : YapıCEA uygulaması ile derslik yapısı analiz sonuçları.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Tuğba ERZURUM

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans : 2015- İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans (Tezli) : 2019- İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı.

PROJE ÇALIŞMASI

Proje Adı : Sürdürülebilir Kentler İçin İleri Teknolojiler Platformu

Proje Yürütücüsü : Prof. Dr. Elif UYSAL

Projenin Yürütüldüğü Kurum Adı : Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bağlı Proje No/ Adı/ Yürütücüsü : P8/ Akıllı Bina Teknolojileri/
Doç. Dr. İpek GÜRSEL DİNO

Proje Numarası : 22AG019-TÜBİTAK

Proje Başlangıç-Bitiş : 15/04/2023-devam ediyor

Proje Görevi : Bursiyer

Proje Websitesi :

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- Erzurum, T., Bettemir, Ö. H. (2017), “Determination of Search Domain of Resource Leveling Problem”, International 7th Construction Management Congress, Samsun (pp. 437-453).
- Erzurum, T., Bettemir, Ö. H. (2018), “Optimum or Near-Optimum Resolution of Resource Leveling Problems with Spreadsheet Application”, 5th International Project and Construction Management Conference- IPCMC2018, Cyprus International University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, North Cyprus (pp. 1285-1299).

- Bettemir, Ö. H. and Erzurum, T. (2019), Comparison of Resource Distribution Metrics on Small Projects, International Civil Engineering and Architecture Conference, Trabzon, Turkey.
- Bettemir, Ö. H., Erzurum, T. (2019), Comparison of Resource Distribution Metrics on Multi- Resource Projects, Journal of Construction Engineering, Management & Innovation 2019, Volume 2, Issue 2 (pp. 93-102).
- Bettemir, Ö. H., & Erzurum, T. (2021). Kaynak Dengeleme Probleminin Arama Uzayını Paralel Programlama ile Tarayarak Kesin Çözümü. *Teknik Dergi*, 32(3), 10767-10805.
- Bettemir, Ö. H. & Erzurum, T. (2022). Tüm Arama Uzayı Taranarak Kaynak Dengeleme Probleminin Optimum Çözülmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34 (2), 779-794.
- Erzurum, T., Bettemir, Ö. H. (2022), Optimum Solution of Resource Leveling Problem, 7th International Project and Construction Management Conference- IPCMC2022, (pp. 276-287).
- Bettemir, Ö. H. and Erzurum, T. (2023), Complete enumeration algorithm for the solution of resource leveling problem, International Civil Engineering and Architecture Conference, Trabzon, Turkey. DOI 10.31462/icearc.2023.cme378

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- Erzurum, T., Bettemir, Ö. H., Türk, K. (2021), Feasibility Analysis of Printable concrete for the construction of Temporary Houses, 14th International Congress on Advances in Civil Engineering- ACE 2020-21 (pp. 361-368).
- Erzurum, T., Bettemir, Ö. H. (2021), Sustainability Analysis for the Construction of Temporary Houses, 14th International Congress on Advances in Civil Engineering- ACE 2020-21 (pp. 354- 360).
- Erzurum, T., Bettemir, Ö. H. (2022), Sustainability Analysis for the Construction of Rural Houses, 7th International Project and Construction Management Conference- IPCMC2022, (pp. 1292-1303).
- Erzurum, T., & Bettemir, Ö. H. (2023), Collection of environmental performance indicator data and comparison with inventory of carbon and energy data, International Civil Engineering and Architecture Conference, Trabzon, Turkey. DOI 10.31462/icearc.2023.cme298
- Erzurum, T., & Bettemir, Ö. H. (2023). Tek katlı Kırsal Bölge Yapısının Gömülü Enerji ve Karbon Salınımının Analizi. *Politeknik Dergisi*, 1-1.