T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ BAĞLAMINDA ÜRÜN SEÇİMİNDE DİJİTAL TASARIM ARAÇLARININ İRDELENMESİ

Ecem KÖŞÜRGELİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ BAĞLAMINDA ÜRÜN SEÇİMİNDE DİJİTAL TASARIM ARAÇLARININ İRDELENMESİ

Ecem KÖŞÜRGELİ tarafından hazırlanan tez çalışması 06.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Polat DARÇIN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Sadiye Müjdem VURAL, Üye
Doğu Akdeniz Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Bağlamında Ürün Seçiminde Dijital Tasarım Araçlarının İrdelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ecem KÖŞÜRGELİ

İmza

Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmamın tüm süreçlerinde büyük emeği olan, akademik birikimi, tecrübeleri ve kişiliğiyle beni en doğru biçimde yönlendiren, her koşulda bana vakit ayırarak büyük fedakarlık gösteren kıymetli danışmanım Sayın Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN'a değerli katkıları için sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında görüşlerini paylaşan, çok değerli katkılar sağlayarak çalışmamı üst aşamalara taşıyan jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. Sadiye Müjdem VURAL ve Sayın Doç. Dr. Polat DARÇIN'a teşekkürü borç bilirim.

İstanbul Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde birlikte çalıştığımız, başta dekanım Sayın Prof. Dr. Kemal Kutgün EYÜPGİLLER ve bölüm başkanım Sayın Doç. Dr. H. Umut TUĞLU KARSLI olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma bütün süreçlerimdeki destek ve anlayışları için teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında bana koşulsuz sevgi ve destek veren, üzerimde sonsuz emekleri olan, her zaman en büyük destekçilerim sevgili annem Türkan KÖŞÜRGELİ'ye, değerli babam Oktay KÖŞÜRGELİ'ye, canım abim Baturalp KÖŞÜRGELİ'ye ve diğer tüm aile üyelerime; birlikte büyüdüğüm değerli dostum Havva YAKA'ya; tez sürecimdeki stres ve zorlukları birlikte paylaştığım Büşra AKYILDIZ ve Sadık AKŞAR'a ve yol arkadaşım Yağız ERBAY'a en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ecem KÖŞÜRGELİ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xii
ÖZET xiii
ABSTRACT xv
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti ... 1
1.2 Tezin Amacı ... 11
1.3 Hipotez ... 12
2 YAPI ÜRÜNÜ VE YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ KAVRAMLARI 15
2.1 Yapı Ürünü ... 16
2.2 Yapı Ürünü-Çevre İlişkisi ... 19
2.3 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ... 25
2.4 Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Süreçleri ... 31
2.5 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemi ... 33
2.6 Bölüm Sonu ... 39
3 YAPIDA ÜRÜN SEÇİMİ 40
3.1 Tasarımda Yapı Ürünü Seçiminin Yeri ve Önemi ... 40
3.2 Ürün Seçim Yöntemleri ... 42
3.2.1 Performans Yaklaşımına Dayalı Yöntemler ... 43
3.2.2 Maliyete Dayalı Yöntemler ... 47
3.2.3 Karar Yöntemine Dayalı Yöntemler ... 48
3.3 Bölüm Sonu ... 48
4 YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİNE DAYALI ÜRÜN SEÇİMİ 50
4.1 Yapı Ürünü YDD Modelleri ile Ürün Seçimi ... 51
4.1.1 Woolley Modeli ... 51
4.1.2 Anderson Modeli ... 52
4.1.3 Gökçe Tuna Taygun (GTT) Modeli ... 53
4.2 Yapı Ürünü Katalogları ile Ürün Seçimi ... 54
4.3 Elektronik Tablo Tabanlı Araçlar ile Ürün Seçimi ... 55

4.4 Genel YDD Araçları ile Ürün Seçimi 56
4.4.1 SimaPro Yazılımı 57
4.4.2 GaBi Yazılımı 57
4.5 Dijital Tasarım Araçları ile Ürün Seçimi 58
4.5.1 Bilgisayar Destekli Tasarım Araçları 59
4.5.2 Yapı Bilgi Modellemesi Araçları 60
4.5.3 Hesaplamalı Tasarım Araçları 64
4.6 Bölüm Sonu 67
5 YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ BAĞLAMINDA ÜRÜN SEÇİMİNDE DİJİTAL TASARIM ARAÇLARININ İRDELENMESİ 68
5.1 Dijital Tasarım Araçları ile YDD Bağlamında Ürün Seçiminin İrdelenmesi için Tasarlanan Yapı 68
5.2 YDD Bağlamında Ürün Seçiminde İrdeleme için Seçilen Dijital Tasarım Araçları ve Araçlarla YDD Bağlamında Ürün Seçimi 72
5.2.1 Tally Dijital Tasarım Aracı 72
5.2.2 One Click LCA Dijital Tasarım Aracı 86
5.2.3 Bombyx Dijital Tasarım Aracı 105
5.3 Tally, One Click LCA ve Bombyx Dijital Araçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi 121
6 SONUÇ VE ÖNERİLER 128
KAYNAKÇA 136
A TALLY SONUÇ RAPORLARI 146
B ONE CLICK LCA SONUÇ RAPORLARI 161
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 181

SİMGE LİSTESİ

C_2H_4	Etilen
ft^3	Fit Küp
$(PO4)^{-3}$	Fosfat
I_E	Gömülü Etki
psi	İnçkare başına libre
CO_2	Karbondioksit
kg	Kilogram
km	Kilometre
kN	Kilonewton
kWh	Kilowatt Saat
CFC	Kloroflorokarbon
SO_2	Kükürt Dioksit
lbs	Libre
MJ	Megajul
m	Metre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
kg/m^3	Metreküp başına kilogram
mm	Milimetre
kN/mm^2	Milimetrekare başına kilonewton
I_O	Operasyonel Etki
O_3	Ozon
CFC-11	Triklorofloremetan
I_{LC}	Yaşam Döngüsü Etkisi

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AP	Acidification Potential
B.E.S.T	Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım
BIM	Building Information Modeling
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CAD	Computer Aided Design
CE	Conformité Européenne (European Conformity)
CEN	European Committee for Standardization
CES	Cambridge Engineering Selector
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen E.V (German Sustainable Building Council)
eBKP-H	Aukostenplan Hochbau (Cost-Plan Buildings)
EN	European Standard
EP	Eutrophication Potential
EPA	United States Environmental Protection Agency
EPD	Environmental Product Declarations
FSC	Forest Stewardship Council
GTT	Gökçe Tuna Taygun Modeli
GWP	Global Warming Potential
HQE	High Quality Environmental Standard
ISO	International Organization for Standardization
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau-und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (Coordination Conference of Public Building Owners)
LCA	Life Cycle Assessment
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MA	Material
MB	Material Browser
MRI	Midwest Research Institute
NURBS	Non-Uniform Rational B-Splines

ODP	Ozone Depletion Potential
PED	Primary Energy Demand
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SIA	Effizienzpfad Energie (Energy Efficiency Path)
SimaPro	System for Integrated Environmental Assessment of Products
TP	Type Properties
TRACI	Tools for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UBP	Umweltbelastungspunkte (Environmental Impact Points-Ecopoints)
UNEP	United Nations Environmental Program
U.S.	United States
U.S. LCI	United States Life Cycle Inventory Database
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YDEA	Yaşam Döngüsü Envanter Analizi
YDED	Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Farklı yapı ürünlerinin üretiminde açığa çıkan CO_2 emisyon oranları. 19
Şekil 2.2 Yapı ürünlerinin ve yapının yaşam döngüsü süreçleri, süreçlerin birbirleri ve çevre ile olan ilişkileri 26
Şekil 2.3 Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçlerinin sınırları 31
Şekil 2.4 ISO 21930'a göre yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçleri 32
Şekil 2.5 YDD yönteminin adımları ve adımları arasındaki ilişkiler 33
Şekil 2.6 Örnek YDD sistem sınırı şeması 35
Şekil 2.7 YDED adımının unsurları 36
Şekil 2.8 YDD'de sıklıkla kullanılan etki kategorileri 37
Şekil 3.1 Öğe ya da bileşen düzeyinde ürün seçim yöntemi şeması 45
Şekil 3.2 CES yazılımı ile gerçekleştirilen ürün seçim işlemi 46
Şekil 3.3 Ürün seçim adımları 46
Şekil 4.1 EcoCalculator aracının Excel görünümü 56
Şekil 4.2 Genel YDD araçları ile ürün seçim süreci 57
Şekil 4.3 SimaPro veritabanından seçilebilecek örnek cam tipleri 57
Şekil 4.4 GaBi demo yazılımı arayüzü 58
Şekil 4.5 Revit duvar familyası, tuğla duvar örneği 62
Şekil 4.6 Revit duvar familyası katmanlaşması örneği 63
Şekil 4.7 Yapı ürünlerinin listelendiği MB ekranı 63
Şekil 4.8 Grasshopper çalışma prensibi örneği 66
Şekil 5.1 Örnek yapının zemin ve birinci kat planları 69
Şekil 5.2 Örnek yapının A-A ve B-B kesitleri 69
Şekil 5.3 Örnek yapının cepheleri 70
Şekil 5.4 Revit çubuk menüsü ve eklentiler sekmesi altındaki Tally aracı 74
Şekil 5.5 Revit modelinden Tally'e aktarılan betonarme strüktür seçeneğine ait kolonlar ve ilgili metraj bilgisi ekranı 75
Şekil 5.6 300x300 mm'lik kolonlar için seçilebilecek yapı ürünü seçenekleri 75
Şekil 5.7 Betonarme strüktür için örnek ürün veri düzenleme ekranı 76
Şekil 5.8 Tally Revit eklentisi, seçilen ürün için genel ön gösterim ekranı 77
Şekil 5.9 Çalışma kapsamındaki strüktür seçeneklerinin YDD sonuçları 80
Şekil 5.10 Strüktürlerin Tally'den seçilen yapı ürünlerine göre YDD sonuçları .. 81
Şekil 5.11 One Click LCA eklentisi ve aracın butonu 89

Şekil 5.12 Betonarme strüktüre ait Revit modelinden One Click LCA'ya aktarılan familya, malzeme ve metraj bilgileri ile bulutta YDD sekmesi 90

Şekil 5.13 Betorname strüktür için One Click LCA'da otomatik yapı ürünü eşleşmesi ve ürün filtreleme seçenekleri 91

Şekil 5.14 One Click LCA dijital aracı yapı ürünü filtreleme seçenekleri 91

Şekil 5.15 One Click LCA aracı, genel proje bilgileri ekranları..... 92

Şekil 5.16 Betonarme strüktür kolonları için otomatik eşleştirilen yapı ürünleri 93

Şekil 5.17 Örnek betonarme strüktür için açılmış olan ürün değişim ekranı 93

Şekil 5.18 Örnek yapının çelik strüktür seçeneğini oluşturan yapı ürünlerinin küresel ısınma üzerindeki yüzdesel etkileri 98

Şekil 5.19 Çelik profilin sürdürülebilir seçenekleri 98

Şekil 5.20 Betonarme strüktür için grafik örneği-yapı ürünlerinin yaşam döngüsü etkileri 99

Şekil 5.21 Betonarme strüktür için grafik örneği-küresel ısınma potansiyeli, yaşam döngüsü süreçleri 99

Şekil 5.22 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için karşılaştırmalı grafik örneği-etki kategorileri..... 99

Şekil 5.23 Grasshopper arayüzü ve Bombyx eklentisi..... 108

Şekil 5.24 Betonarme strüktürün kolonları için Bombyx aracı ile geliştirilen algoritmanın Grasshopper arayüzündeki görünümü..... 109

Şekil 5.25 Grasshopper geometri katmanları, alan hesaplama ve katman oluşturma bileşenleri 110

Şekil 5.26 Bombyx'ten Rhinoceros arayüzüne aktarılan katmanlar 110

Şekil 5.27 Betonarme strüktür kolonları için seçilebilecek ürün grupları 111

Şekil 5.28 Betonarme strüktür kolonları için seçilebilecek yapı ürünleri 111

Şekil 5.29 Betonarme strüktür kolonları için yapı ürünü, katman etkisi, yapı bileşeni etkisi ve yapı elemanı etkisi bileşenlerinin ilişkileri 112

Şekil 5.30 Betonarme strüktür kolonları için yapı etkisi, ürünlerin nakliyesi bileşenleri ve algoritma ile elde edilen YDD sonuçları..... 113

Şekil 5.31 Betonarme strüktür seçeneği için oluşturulan YDD algoritması 113

Şekil 5.32 Betonarme strüktür seçeneğinin Grasshopper'daki sonuç grafiği 116

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 YDD tarihi ile ilgili seçilmiş olaylar 29

Tablo 4.1 Boya ve renklendiricilerin çevresel etki analizi 52

Tablo 4.2 Yalıtım ürünlerinin çevresel etki analizi 53

Tablo 5.1 Örnek yapı irdelemeleri için seçilen strüktür tipleri ve bu tiplere ait kolon, kiriş ve döşeme özellikleri.....71

Tablo 5.2 Tally dijital aracı genel özellikleri 72

Tablo 5.3 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için Tally'den seçilen yapı ürünleri 78

Tablo 5.4 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürlerin Tally'den elde edilen YDD sonuçları..... 79

Tablo 5.5 One Click LCA dijital aracı genel özellikleri 87

Tablo 5.6 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için One Click LCA'dan seçilen yapı ürünleri 94

Tablo 5.7 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürlerin One Click LCA'dan elde edilen YDD sonuçları 96

Tablo 5.8 Bombyx dijital aracı genel özellikleri 105

Tablo 5.9 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için Bombyx'ten seçilen yapı ürünleri 114

Tablo 5.10 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürlerin Bombyx'ten elde edilen YDD sonuçları..... 115

Tablo 5.11 YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının genel özelliklerinin karşılaştırması..... 121

ÖZET

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Bağlamında Ürün Seçiminde Dijital Tasarım Araçlarının İrdelenmesi

Ecem KÖŞÜRGELİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN

Yapı, kullanıcılarının gereksinmelerini yapı ürünleri aracılığıyla karşılamaktadır. Endüstri Devrimi öncesi az sayıda ürün arasından kolaylıkla gerçekleştirilen yapı ürünü seçimleri; endüstrileşme ile birlikte farklı nitelikteki ürünlerin ortaya çıkmasıyla tasarımcılar için zorlayıcı bir sürece dönüşmüştür. Her yapı ürününün farklı çevresel etkileri olduğundan doğru ürünü seçmek, sürdürülebilirlik anlamında önem kazanmaktadır. Yapı ürünleri; hammadde edinimi, üretim, uygulama, kullanım, geri dönüşüm veya yok edilme süreçlerini kapsayan döngü boyunca çevreyle doğrudan ya da dolaylı etkileşimdedir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), yapı ve yapı ürünlerinin döngüsel süreçlerindeki çevresel etkilerini ortaya koyan yöntemdir. Bu doğrultuda çevreci yapı ürünü seçimleri, YDD bağlamında yapılabilir. YDD bağlamında ürün seçimi, gelişen teknolojiler sayesinde dijital tasarım araçlarıyla gerçekleştirilmektedir.

Çalışmanın amacı; dijital tasarım araçlarıyla YDD bağlamında ürün seçmek, YDD bağlamında ürün seçiminde kullanılan dijital araçları irdelemek ve tasarımcılar arasında bu araçların yaygınlaşmasına katkı sağlamaktır. Ayrıca çalışma, çevreci

yapı ürünü seçiminin vurgulanması ve bu ürünlerin tasarım pratiğine entegre edilebilmesi açısından önemlidir.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde literatür özeti, tezin amacı, hipotez; ikinci bölümde ise yapı ürünü–çevre ilişkisi, YDD yöntemi, yapı ürünlerinin YDD süreçleri ele alınmıştır. Üçüncü bölümde yapı ürünü seçimindeki yöntemler incelenirken; dördüncü bölümde YDD bağlamında ürün seçiminde faydalanılabilecek yapı ürünü YDD modelleri, ürün katalogları, elektronik tablo tabanlı araçlar, genel YDD araçları ve dijital tasarım araçları ele alınmıştır. Bilgisayar destekli tasarım, yapı bilgi modellemesi, hesaplamalı tasarım araçları şeklinde sınıflandırılabilen dijital tasarım araçları, Revit ve Rhinoceros yazılımlarıyla örneklenmiştir. Çalışmadaki temel araştırmanın yapıldığı beşinci bölümde ise YDD bağlamında ürün seçimi için dijital tasarım araçlarına entegre edilebilen Tally, One Click LCA ve Bombyx araçları irdelenmiştir. İrdelemeler, geliştirilen örnek yapının betonarme, çelik, çağdaş ahşap strüktür seçenekleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ardından YDD bağlamında ürün seçiminde Tally, One Click LCA, Bombyx araçlarının genel ve karşılaştırmalı değerlendirmeleri yapılarak bulgular ortaya konmuştur. Son bölümde, araştırma sonuçları ve öneriler ifade edilmiştir. Gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının, kullanıcılara zaman, pratiklik; çevreye ise sürdürülebilirlik bağlamında önemli katkılar sağlayacağı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD), yapı ürünü seçimi, YDD bağlamında yapı ürünü seçimi, dijital tasarım araçları, YDD bağlamında yapı ürünü seçiminde dijital tasarım araçları.

ABSTRACT

Examination of Digital Design Tools in Product Selection in the Context of Life Cycle Assessment

Ecem KÖŞÜRGELİ

Department of Architecture

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN

Buildings meet the demands of its users through building products. Building product selections, which were simply made among a few number of products in the industrial revolution, have turned into a challenging process for designers with the emergence of products with different qualities today. Since each building product has different environmental effects, choosing the right product gains importance in terms of sustainability. Building products are in direct or indirect interaction with the environment throughout a cycle that includes raw material extraction, production, application, usage, recycling or disposal. Life Cycle Assessment (LCA) is a method to present the environmental impacts of building and building products in their circular processes. In this context, environmental friendly building product selections can be executed based on LCA. Product selection based on LCA, can be acquired with digital design tools via developing technologies.

The aim of the study is to select products in the context of LCA with digital design tools, to examine the digital tools used in product selection in the context of LCA, and to contribute to the generalise of these tools among designers. In addition,

the study is important in terms of emphasizing the choice of environmentally friendly construction products and integrating these products into design practice.

The study consists of six chapters. In the first chapter, the literature summary, the purpose of the thesis and the hypothesis are expressed, while in the second chapter, the building product-environment relationship, the LCA method, and the LCA processes of the building products are discussed. While the methods used in the selection of building products are examined in the third chapter; building product LCA models, product catalogs, spreadsheet-based tools, general LCA tools and digital design tools that can be used in product selection in the context of LCA are discussed in the fourth chapter. Digital design tools, which can be classified as computer aided design, building information modeling and computational design tools, are exemplified by Revit and Rhinoceros software. In the fifth chapter, where the basic research of the study is made, Tally, One Click LCA and Bombyx tools that can be integrated into digital design tools for product selection in the context of LCA are examined. The examinations were carried out on the concrete, steel and contemporary wooden structure options of the developed sample building. Then, general and comparative evaluations of Tally, One Click LCA, Bombyx tools were made in product selection in the context of LCA, and the findings are presented. In the last section, research results and recommendations are explained. As a result of the evaluations, it has been understood that the use of digital design tools in product selection in the context of LCA will make significant contributions to designers in terms of time, practicality and sustainability in the environment.

Keywords: Life cycle assessment (LCA), building product selection, building product selection in the context of LCA, digital design tools, building product selection in the context of LCA with digital design tools.

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

İnsanlar, var oluşundan bu yana yaşamını sürdürmek ve hayatta kalmak için doğal ekosistemlerle ve çevre ile bütünleşik bir ilişki içerisindedir. İnsanın yaşamla ilgili tüm faaliyetlerinin çevre üzerinde bir etkisi vardır. "Çevre, yaşam içinde yer alan ilişkiler ve yaşamın oluştuğu ortamlar bütünüdür" (Tuna Taygun ve Balanlı, 2005).

İnsan etkinlikleri doğrultusunda çevre üzerinde meydana gelen olumsuz değişimler, geçmişte belirli bir noktaya kadar doğanın kendini yenileyebilme özelliği yardımıyla fark edilmemiştir. Zaman içerisinde insanların bilinçsiz olarak doğaya yaptıkları tahribatlar giderek artmış, bunun sonucunda doğa kendi gücünü aşan bu kirliliği temizleyemediği için dünyada denge hızla bozulmaya başlamış ve çevre sorunları ortaya çıkmıştır (Keleş ve Hamamcı, 2005).

Özey (2001) çevre kirlenmesinin tanımını "...doğada canlılar ile çevre koşulları arasında var olan dengenin bozulması..." şeklinde ifade etmiştir. Çevre sorunları; su, hava, toprak ve diğer çevre kirlilikleri olarak dörde ayrılabilir.

Endüstrileşme sonucunda nüfus artışı ve kentleşme ile gelişen yapım teknolojileri ve yapı sektörü; doğal kaynakların kullanımı ve enerji tüketimi ile çevre kirliliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Yapı sektörü küresel enerjinin ve kaynakların %35'ini tüketirken, dünyadaki sera gazı emisyonlarının %38'inden, katı atıkların ise %50'sinden sorumludur (United Nations Environment Programme, 2020; World Green Building Council, 2020).

Çevresel sorunların giderek önem arz eden problemlere dönüşmesi sonucunda yapılan çalışmalarla ekolojik yaşam fikri ortaya çıkmıştır. Bu fikir ile insanın doğanın ayrılmaz ve uyumlu bir parçası olduğu bilincine varılmış; çevreyi doğal düzenine döndürmek ve korumak uluslararası bir konu haline gelmiştir (Hollar,

2012). Ekolojik yaşam fikrinin yansımaları yapı sektöründe; çevre dostu, yeşil yapı ve sürdürülebilirlik kavramlarının ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Sürdürülebilirlik; bugünün gereksinmelerinin, gelecek nesillerin kendi gereksinmelerini karşılama kabiliyetinden ödün vermeden karşılanmasıdır (Brundtland Commission, 1987). Sürdürülebilirlik düşüncesiyle tasarlanan çevre dostu yapının genel anlamda üretim, kullanım ve yok edilme süreçlerinde;

- En az miktarda kaynak tüketen,
- Çevreye en az miktarda atık bırakan,
- Canlı sağlığı açısından olumsuz etkileri olmayan

özellikler göstermesi hedeflenmektedir (Tuna Taygun ve Balanlı, 2013).

Yapı, kullanıcılarının gereksinmelerini kendisini oluşturan yapı ürünlerinin özellikleri aracılığıyla karşılamaktadır. Endüstrileşme ile meydana gelen teknolojik ve ekonomik gelişmeler, kullanıcı gereksinmelerinde değişimlere sebep olmuştur. Geçmişte deneyim ve gelenekler doğrultusunda verilen yapı ürünü kararları; yeni üretim teknikleri, farklı nitelik ve nicelikte pek çok yapı ürününün ortaya çıkması gibi sebepler ile kullanıcı için zorlayıcı bir süreç haline gelmiştir (Balanlı, 1997). Her yapı ürünün farklı çevresel etkileri olduğundan bu bağlamda doğru yapı ürününü seçmek sürdürülebilirlik anlamında giderek önem kazanmaktadır. Yanlış bir ürün kararı, çevreye, insana ve diğer canlılara, topluma ve toplumsal sistemlere, ekonomiye zarar vermektedir.

Yapı ürünleri; hammaddelerinin edinimi, üretimi, satışı, yapıya uygulanması, kullanılması, bakımı ve onarımı, kullanımının yinelenmesi, kullanımının sona ermesi ile geri dönüşümü ya da yok edilmesi gibi süreçleri içine alan bir döngü boyunca çevre ile doğrudan ya da dolaylı etkileşim içerisindedir (Tuna Taygun, 2005). Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), ürünlerin bu döngüsel süreçleri boyunca çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere oluşturulmuş yerleşik bir yöntemdir (TS EN ISO 14040, 2007; Tuna Taygun, 2005). YDD tekrarlanabildiğinden ve tutarlı sonuçlar verdiğinden, çevresel değerlendirme için bilimsel olarak savunulabilir bir araç olarak kabul edilir.

YDD ile ilgili ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda tüketim ürünleri üzerinde yapılmıştır. Bunlardan biri, 1969'da Coca-Cola firması için Midwest Research Institute (MRI)

tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, bir içecek kabının hammaddelerinin elde ediniminden bertaraf edilmesine kadar tüm yaşam döngüsünde enerji, malzeme ve çevresel sonuçları ölçmeye yönelik bir sistem önerilmiştir (Guinée vd., 2011; Hunt vd., 1996). 1980'li yıllarda yaşam döngüsü düşüncesi inşaat sektöründe kendini göstermeye başlamıştır. 1990'lı yıllarda düzenlenen çeşitli çalıştaylar ve yayımlanan bilimsel makaleler ile standardizasyon dönemi başlamıştır. Sonraki on yıllık dönemde, Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (Society of Environmental Toxicology and Chemistry-SETAC), YDD uygulayıcılarını bir araya getirerek yöntem ve terminolojiyi uyumlu bir şekle dönüştürmede öncü rol oynamış, SETAC Uygulama Kurallarını (SETAC Code of Practice) yayınlamıştır (SETAC, 1993). Sonrasında 1997'de yayınlanan ISO 14040 (Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu-International Organization for Standardization) ile, YDD standartları oluşturulmaya başlanmıştır (Buyle vd., 2013; Tuna Taygun, 2005; Guinée vd., 2011).

Roberts, Allen ve Coley (2020), YDD'nin yapılı çevrede uygulanmasının, ISO 14040'ın ve daha yakın zamanda yapılar için YDD yöntemini tanımlayan EN 15978'in yayınlanmasını takiben son 15 yılda önemli bir ivme kazandığını ifade etmektedir.

YDD yöntemini oluşturulan standartlar dışında, YDD'nin kullanımını kolaylaştırmak, destekleyici araçları ve veri kalitesini iyileştirmek için Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environmental Program-UNEP) ve SETAC, UNEP-SETAC Yaşam Döngüsü Girişimini (UNEP-SETAC Life Cycle Initiative) başlatmıştır (Buyle vd., 2013; Laurin, 2017).

Genel YDD yönteminin tanımlandığı ISO 14040 serisine ek olarak yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik ISO 21930, EN 15804 ve EN 15978 standartları geliştirilmiştir. ISO 21930 bağlamında oluşturulan Çevresel Ürün Beyannameleri (Environmental Product Declaration-EPD), yapı ve yapı ürünlerinin yaşam döngüsü düşüncesinin artan öneminin bir başka göstergesidir. EPD, YDD standartlarına (ISO 14040 serisi) dayalı olarak önceden belirlenmiş parametre kategorilerine sahip bir ürün için bir dizi nicelleştirilmiş çevresel

veridir. Bu beyannameler, etiketler ve standartlar, tasarımcıların çevre dostu ürünler seçmesini kolaylaştırmıştır (Buyle vd., 2013, Tuna Taygun, 2005).

Belirtilen ISO 21930, EN 15804 ve EN 15978 standartları doğrultusunda yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçleri de standart hale getirilmiştir. ISO 21930'a göre yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçleri;

- üretim süreci (A1-hammadde edinimi, A2-nakliye, A3-üretim),
- uygulama süreci (A4-nakliye, A5-yapı inşaa süreci),
- kullanım süreci (B1-kullanım, B2-bakım, B3-onarım, B4-değişim, B5-yenileme, B6-enerji kullanımı, B7-su kullanımı),
- kullanım sonu süreci (C1-yıkım ve söküm, C2-nakliye, C3-geri dönüşüm veya yeniden kullanım, C4-yok etme) ve
- sistem sınırlarının ötesindeki faydalar ve yükler (D)

şeklinde sınıflanabilir.

Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi, süreç ve sınırların tanımlanması sonrasında ürünlerin çevresel etkilerine ait verilerin toplanması ve yorumlanması doğrultusunda gerçekleşir. Bu hesaplama ve değerlendirmelerin uluslararası bağlamda yapılabilmesi için ISO 14040 standardı doğrultusunda yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi geliştirilmiştir. YDD yöntemi; amaç ve kapsam, envanter analizi, etki değerlendirmesi ve yorumlama adımlarından oluşmaktadır. Amaç ve kapsam adımında YDD çalışması ile ilgili plan, amaçlanan uygulama, çalışmanın yürütülme nedeni, incelenecek ürün sistemi, fonksiyonel birimler, etki kategorileri ve değerlendirme yöntemi net bir şekilde ifade edilerek tanımlanır. Envanter analizi adımında çalışmanın amacına uygun olarak girdi (kaynaklar, su, enerji vb.) ve çıktı (hava, su emisyonları vb.) verilerinin toplanması işlemi gerçekleştirilir. Etki değerlendirmesi adımında ise envanter analizi adımında toplanan verilerin değerlendirmesi, belirlenen etki kategorileri doğrultusunda yapılır. Son olarak yorumlama adımında ise envanter analizi ve etki değerlendirmesi adımlarında elde edilen verilen değerlendirmesi yapılır.

YDD'nin ilkesi; "ürünlerin çevreye olan zararlı etkilerini belirlemek ve azaltmak, ekolojik çevreye en az düzeyde zarar veren ürünlerin seçilmesini sağlamaktır" (Tuna Taygun, 2005). 21. Yüzyılın küresel sorunlarında sınırlı kaynaklar ve çevre

kirliliğinin büyük bir yer edinmesi ile çevre dostu ve YDD bağlamında ürün seçimi konusu önem kazanmaktadır. Maleque ve Salit (2013), yapı ürünlerinin üretimi için sayısı her geçen gün artan 60.000'den fazla metalik malzeme ve 40.000'e yakın metalik olmayan malzemenin (plastikler, seramikler, camlar, kompozitler ve yarı iletken malzemeler) olduğunu ifade etmektedir. Bu malzemelerden oluşan sayısız ürün seçenekleri içerisinden çevre dostu ürün seçimi yapmak, karar vericiler için giderek zorlaşmaktadır. Bu doğrultuda tasarımcılara yol gösterecek, sistematik bir ürün seçim yöntemi ortaya konmalıdır (Koyaz, 2016; Maleque ve Salit, 2013).

Yapı ürünü seçiminde karar vericilere destek sağlayabilecek çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Arıoğlu (1993), Ashby vd. (2007), Balanlı (1997) ve Koyaz (2016) tarafından gerçekleştirilen çeşitli çalışmalarda bu yöntemler genel olarak performans yaklaşımına, maliyete ve karar yöntemine dayalı yöntemler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Performans yaklaşımına dayalı yöntemlere Japon, Sneck, Cronberg, Balanlı, Ashby, Lohaus ve Steinborn yöntemleri; maliyet yaklaşımına dayalı yöntemlere Hillerborg ve Fischmeister-Larsson; karar yöntemine dayalı yöntemlere ile Özkan ve Nilsson-Samuelson yöntemleri örnek olarak verilebilir.

Yaşam döngüsü boyunca çevre ile doğrudan ya da dolaylı bir etkileşimde bulunan yapı ürünlerinin seçiminde, belirtilen performans yaklaşımına dayalı seçim yönteminin temel gereksinmelerden biri sürdürülebilirliktir. Bu bağlamda çevre dostu ve yaşam döngüsü değerlendirmesine dayalı yapı ürünlerinin seçimi konusu giderek önem kazanmaktadır.

Literatürde YDD'ye dayalı ürün seçimi ile ilgili güncel bir çalışma Pollini ve Rognoli'nin (2021) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, genel veya ayrıntılı değerlendirme yapabilen YDD için geliştirilmiş farklı tipte araçlar olduğu ve YDD yönteminin yapı ürünleriyle doğrudan ilişki olması sebebiyle bu araçların çoğunun yapı ürünü seçimi ile de ilgili olduğu ifade edilmiştir. Bu doğrultuda çalışmada, YDD'ye dayalı ürün seçiminde kullanılabilecek araçlar; yönerge ve standartlar, kontrol listeleri, karşılaştırmalı araçlar (EPD'lerden oluşturulmuş excel dosyası vb.) ve analitik yöntemler (SimaPro vb.) şeklinde dört başlıkta sınıflandırılmıştır. Araştırmada analitik yöntemlerden SimaPro ve GaBi gibi YDD

için geliştirilen yazılımlardaki YDD'ye dayalı ürün seçimi üzerinde durulmuştur. Ayrıca çalışmada, sürdürülebilirlik yaklaşımı ile gerçekleştirilen yapı tasarımlarında, yapıların çevresel etkilerinin azaltılması için yapı ürünü seçimi ile YDD süreçlerinin entegrasyonunun önemini ifade edilmiştir. Çalışma ile elde edilen bulgularda, YDD'nin bir tasarım aracından ziyade bir ürün değerlendirme aracı olarak daha kullanışlı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonunda ise, gelecekteki araştırmalarda ürün seçim süreçlerinin pratik bir şekilde yönetilebilmesi için YDD veritabanı içeren analitik araçlarla entegre edilmesinin ve bu konudaki çalışmaların geliştirilmesinin önemli olduğu ortaya koyulmaktadır (Pollini ve Rognoli, 2021).

Tez kapsamında Pollini ve Rognoli'nin (2021) araştırmasından yola çıkılarak YDD'ye dayalı ürün seçiminde kullanılabilecek araçlar; yapı ürünü YDD modelleri, yapı ürünü katalogları, elektronik tablo tabanlı araçlar, genel YDD araçları ve dijital tasarım araçları şeklinde sınıflandırılmıştır.

Yapı ürünü modelleri ile YDD bağlamında ürün seçimi, karar vericilerin kendilerinin farklı ürün bilgilerine erişip bu bilgileri bir model doğrultusunda karşılaştırmaları ve değerlendirmeleri ile seçim işlemini gerçekleştirdikleri süreçtir. YDD bağlamında ürün seçimine yönelik geliştirilen modellere Woolley, Demkin, Anderson, Anink, Gökçe Tuna Taygun, Arzuhan Burcu Gültekin ve Saniye Karaman Öztaş tarafından geliştirilen yöntemler örnek verilebilir.

YDD bağlamında ürün seçiminde karar vericilerin faydalanabileceği bir diğer araç basılı veya çevrimiçi olabilen yapı ürünü kataloglarıdır. Ürün kataloglarına üretici firmalar veya ürün veritabanlarını barındıran ArchDaily, Designer Pages, MaterialDistrict, Arkitera-RAF ve Yapı Kataloğu gibi web siteler ile erişim sağlanabilir. Ürün seçiminde faydalanılabilecek basılı/çevrimiçi ürün kataloglarına EPD'ler örnek olarak verilebilir.

Elektronik tablo tabanlı araçlar, Microsoft Excel gibi tablolama programları aracılığıyla ürünlerinin YDD hesaplamalarını gerçekleştiren dijital araçlardır. Bu araçlardan elde edilen YDD verileri doğrultusunda karar vericiler, ürünlerin karşılaştırmaları doğrultusunda seçim işlemini gerçekleştirebilirler. Örneğin TRACI (Tools for the Reduction and Assessment of Chemical and Other

Environmental Impacts-Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılmasına Yönelik Araç), ürün seçiminde kullanıcılara destek sağlayabilecek bir elektronik tablo tabanlı araçtır.

Genel YDD araçları, ürün ve süreçlerin YDD hesaplamaları için geliştirilmiş, çeşitli ürün bilgileri ve veritabanlarını barındıran dijital araçlardır. Genel YDD araçlarına SimaPro ve GaBi örnek olarak verilebilir (Sayın, 2020; The U.S. Environmental Protection Agency, 2006). SimaPro ve GaBi, içerdikleri envanter veritabanları doğrultusunda ürünlerin sürdürülebilirlik analizlerini gerçekleştirerek karar vericilere seçim konusunda yardımcı olabilir.

Dijital tasarım araçları; geleneksel tasarım ve yaratıcılık anlayışlarından yola çıkarak farklı fikirler türetilmesinde tasarımcıya yardımcı olabilir. Tasarlama eylemine geleneksel yöntemlerle yapılmayacak veya çok kısa sürede çözüm üretebilecek ortam ve olanak sağlar. Dijital tasarımda sanal formlar ve fiziksel yapıları yaratmak için bilgisayar modellemesi, programlama, performans simülasyonlarından faydalanır. Daha genel bir ifade ile tasarım sürecinin tamamı bilgisayar ortamında gerçekleştirilir. Dijital tasarım araçları; bilgisayar destekli tasarım tabanlı, yapı bilgi modellemesi tabanlı ve hesaplamalı tasarım tabanlı araçlar olarak üç başlıkta toplanabilir.

Bilgisayar destekli tasarım (computer aided design-CAD) kavramı 1970'li yıllarda mimarlık sektöründe etkisini göstermeye başlamıştır. CAD, etkileşimli bilgisayar grafik sistemi temeline dayanmaktadır. Bu sistemde kullanıcıdan gelen komutlarla elde edilen veriler işlenir ve ekranda kullanıcının üretimine ait görsel bir çıktı oluşturulur (Keskinel, 1985). Özetle CAD yazılımları, geleneksel tasarım yöntemlerini bilgisayar ortamına taşıyan bir sistem olarak ifade edilebilir. Autodesk AutoCAD sıklıkla kullanılan CAD araçlarındandır (Bellido-Montesinos vd., 2019). CAD araçlarının zamanla kullanımının yaygınlaşması ile bu araçların tasarım ve proje geliştirme süreçlerinde yetersizlikleri olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda bütünleşik veri yaklaşımı düşüncesini destekleyen yapı bilgi modellemesi ortaya çıkmıştır (Chang ve Shih, 2013; Özcan, 2010).

Yapı bilgi modellemesi (building information modeling-BIM); yapı sürecinin üç boyutlu dijital temsilinin, canlı bir veritabanına bağlanarak yönetildiği; tasarım ve

inşaat kontrolüne yönelik bir yaklaşımdır. BIM; mimari, inşaat ve diğer mühendislik disiplinlerinin tek bir model üzerinde çalışabilirliğini sağlar. Bu sayede el ile işletilen süreçlere göre daha iyi analiz sağlanarak tasarımın tüm süreçleri kontrol altında olur (Chang ve Shih, 2013). Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD gibi yazılımlar, BIM düşüncesi ile geliştirilmiştir.

Eastman vd. (2011), Autodesk Revit'i yapı endüstrisi kullanıcılarının yüksek kaliteli yapılar oluşturmasına yardımcı olan bir BIM yazılımı şeklinde ifade etmiştir. Revit, Mimari, statik, elektrik, mekanik, proje yönetimi, tesis yönetimi, metraj, görselleştirme, performans analizi gibi pek çok konuda kendi varsayılan özellikleri veya programa entegre edilebilen eklentiler (plug-in) ile bütüncül hizmet vermektedir (Eastman vd., 2011). Örneğin Revit içerisindeki enerji optimizasyonu (energy optimization) aracı ile enerji performans hesaplamaları, Tally ve One Click LCA eklentileri ile ise YDD hesaplamaları gerçekleştirilebilir.

CAD ve BIM araçlarının yanı sıra mimaride hesaplamalı tasarım araçları sıklıkla kullanılmaktadır (Bellido-Montesinos vd., 2019). Çolakoğlu (2011) tarafından yapılan çalışmada sayısal veya hesaplamalı tasarım (computational design), genel anlamda matematik bilimlerine bağlı olan mimarlık pratiğinin, hesaplama izlemlerinin tasarım süreci ve problemlerine uygulanması şeklinde ifade edilmiştir. Hesaplamalı tasarım araçlarında kullanıcı tarafından modeli oluşturacak bir grafik veya komut dosyası geliştirilmektedir. Komut dosyasında yapılacak düzenlemeler ile pek çok farklı tasarım seçeneği elde edilebilir. Rhinoceros Grasshopper ve Revit Dynamo, sıklıkla kullanılan hesaplamalı tasarım araçlarındandır (Aish, 2013).

Rhinoceros, basit veya karmaşık biçimli yüzey formları oluşturmak, düzenlemek, görüntülemek, birleştirmek, analiz etmek ve belgelemek için birçok araç sağlayan bir modelleme yazılımıdır (Eastman vd., 2011). Yazılıma entegre edilen eklentiler ile arazi oluşturma, enerji, yaşam döngüsü değerlendirmesi, parametrik mimari gibi pek çok farklı işlem gerçekleştirilebilir.

Parametrik mimarlık, tasarımcı tarafından belirlenen çeşitli parametreler üzerinden üretilen biçimin tasarım süreci şeklinde ifade edilebilir. Parametrik mimari araçlarından özellikle son on yılda sıklıkla kullanılanlardan biri,

Rhinoceros'a entegre edilmiş bir grafik algoritma editörü olan Grasshopper'dır (Bellido-Montesinos vd., 2019; Lim vd., 2019). Grasshopper, kod üretmek için geleneksel programlama yerine, komutları yerine getirmek için bileşenleri kullanır (Tucker, 2014). Grasshopper oluşturulmasından bu yana geometri, yapılar, termal performans, gün ışığı performansı, çevresel performans gibi farklı simülasyon eklentileri ile geliştirilen bir yazılım olarak öne çıkmaktadır. Örneğin Ladybug, Honeybee, Diva, Galapagos, Bombyx gibi eklentiler enerji performansı, termal ve görsel konfor ile gün ışığı ölçümleri, optimizasyon ve yaşam döngüsü değerlendirmesi amacıyla kullanıma sunulmuştur (Aksin, 2019; González ve Fiorito, 2015).

YDD temelli gerçekleştirilen yapı tasarımları, inşaat sektöründeki disiplinlerin tümü için kapsamlı bir süreçtir. Bir yapının çevresel performansını etkin bir şekilde iyileştirmek için tasarım sürecine YDD'nin entegre edilmesi gerekmektedir. Dijital tasarım araçları, bu bağlamda YDD'nin kolay ve basit bir biçimde tasarım sürecine entegre edilmesini sağlar. Dijital tasarım araçlarından BIM ve hesaplamalı tasarım araçlarının YDD ile entegrasyonu, tasarımın farklı yönlerinin kolaylıkla ele alınabilmesine ve karmaşık kararların sistemli bir şekilde verilebilmesine olanak sağlar (Obrecht vd., 2020). Uluslararası literatürde özellikle de 2017 sonrasında YDD'nin BIM ve hesaplamalı tasarım araçları ile entegrasyonu hakkında yapılmış çeşitli araştırmalar bulunmaktadır.

Soust-Verdaguer vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, BIM ve YDD'nin entegrasyonuna ilişkin son araştırmalar ele alınmıştır. Ayrıca çalışmada, BIM yazılımlarının YDD uygulamaları sırasında veri alımını nasıl kolaylaştırabileceği ve yapı tasarımında YDD yönteminin BIM performansını nasıl geliştirebileceği irdelenmiştir. Najjar vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, YDD-BIM entegrasyonunun verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için yapı ürünleri ile ilgili çevresel verilerin BIM veritabanlarına işlenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Röck vd. (2018), BIM kullanılarak yapının erken tasarım aşamalarında YDD bağlamında çevresel etkisinin entegre değerlendirmesinin yapılabileceğini ortaya koymuştur. Köseci'nin (2018) yapmış olduğu araştırmada, BIM'deki YDD eklentilerinden One Click LCA ve Tally dijital araçları, farklı veritabanlarının sebep olduğu YDD sonuçlarındaki farklılıkları belirlemek için seçilmiştir. Genel anlamda

YDD sonuçlarındaki farklılıkları gözlemlemek için YDD süreçleri YDD eklenti araçlarıyla çalışılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak Wastiels ve Decuypere (2019), YDD-BIM entegrasyon yöntemlerini;

- ürün metrajlarının BIM ortamından genel YDD araçlarına aktarımı doğrultusunda hesaplamaların gerçekleştirilmesini,
- YDD uygulayıcıları tarafından genel YDD yazılımlarında kullanılmak üzere önceden tanımlanmış IFC (industry foundation classes-endüstri temel sınıfları) formatlı veri modellerinin içe aktarımını,
- BIM aracından alınan bilgilerin bir BIM görüntüleme aracında daha detaylı işlendiği ve ardından genel YDD araçlarına aktarıldığı yaklaşımı,
- YDD analizinin BIM aracına özel olarak geliştirilmiş eklentilerin kullanımıyla gerçekleştirildiği (Bu tür eklentilere Tally, One Click LCA ve CAALA örnek olarak verilebilir),
- YDD bilgilerinin, daha sonraki bir aşamada yapı ürünlerine işlemek ve ayrı bir araç kullanmak yerine, BIM modelinde kullanılan BIM nesnelerine dahil edildiği bir yaklaşımı

içermesi bağlamında beş farklı şekilde sınıflandırılmıştır.

Safari ve AzariJafari (2021) tarafından geliştirilen bir diğer güncel çalışmada ise, YDD-BIM entegrasyonu geleneksel, statik ve dinamik olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmıştır. Geleneksel yaklaşımda, BIM modelinden elde edilen ürün metraj verileri MS Excel elektronik tablosuna aktarılır. Ardından bu Excel verileri SimaPro, OpenLCA gibi yazılımlara iletilir. Sonuç verileri yine Excel ortamında elde edilir. Ürün seçimi için veriler, kullanıcının kendisi tarafından karşılaştırılır. Bu sebeple hata payı ve veri kaybı olasılığı yüksektir. Statik yaklaşımda ise, YDD verilerinin BIM dijital araçlarındaki IFC formatı üzerine işlenmesi doğrultusunda süreç ilerler. Bu yaklaşımda, BIM modelinde yapılan bir değişiklik otomatik olarak YDD sonuçlarına yansımayacağından hesaplamaların yeniden yapılması gerekir. Son olarak dinamik yaklaşımda ise BIM modeli ile YDD veritabanları arasında, görsel programlama dili vasıtasıyla otomatik ve en uygun seçimlerin yapılmasını sağlayan çift yönlü bir bağlantı geliştirilmiştir. Dynamo görsel programlama dili, bu bağlamda YDD-BIM entegrasyonunu sağlayan parametrik araçlardandır.

Wiberg vd. (2019) tarafından yapılan bir araştırmada, YDD sonuçlarını yapı ve mahalle ölçeğinde görselleştirmek için hesaplamalı tasarım aracı olan Grasshopper kullanılmıştır. Çalışmada, Grasshopper'ın dinamik yaklaşımlarının, YDD'yi görsel ve anlaşılması kolay bir şekilde sunduğu ve ayrıca yapı ürünlerinin çevresel etkilerini ifade etmede etkili olduğu ifade edilmiştir. Hollberg vd. (2020)'nin ortaya koyduğu çalışma, erken tasarım aşamasında YDD yönteminin hesaplamalı tasarım araçlarında uygulanmasının, optimizasyon potansiyeli üzerindeki pozitif etkisini ifade etmek amacıyla geliştirilmiştir. Çalışma ile geliştirilen araç, bir Grasshopper eklentisi olan parametrik YDD aracı Bombyx'e dayanmaktadır.

Dijital araçlarla geliştirilen tasarımların kurgulanmış rasyonel yapısı, tasarımcının düşünme sürecini ve hesaplamalı bilimlerin yaratıcı olanaklarını birleştirerek farklı seviyelerdeki problemlere farklı çözümler sunabilmektedir. Bu farklı çözümler arasından tasarımcının yapı ile alakalı biçim, mekan, strüktür ve yapı ürünü konularında en optimal seçimleri yapması beklenmektedir.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda; yaşam döngüsü değerlendirmesi, yapıda ürün seçimi, yaşam döngüsü değerlendirmesine dayalı ürün seçimi, dijital tasarım araçları, dijital tasarım araçlarına yaşam döngüsü değerlendirmesinin entegrasyonu konularında farklı disiplinler tarafından geliştirilmiş çalışmalar olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu çalışmalar arasında, dijital tasarım araçlarıyla YDD bağlamında ürün seçimi ve yaşam döngüsü değerlendirmesi bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının irdelenmesi konusunda eksiklikler olduğu belirlenmiş ve tezin araştırma sorusu bu doğrultuda oluşturulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Yapıda ürün seçimi; malzeme ve ürünlerin çok çeşitli tür ve sayıda olması, aynı performansı sağlayacak malzeme/ürünlerin farklı çevresel etkilerinin oluşu, aynı malzeme/ürün türünün farklı üretim çeşitleri ile çevresel etkilerinin farklılaşması, malzeme/ürünlere ait bilgilerin karmaşıklığı ve karşılaştırılabilirliğinin güçlüğü nedenleri ile yürütülmesi zor bir süreçtir. Tez kapsamında belirlenen araştırma sorusu doğrultusunda;

- Birincil amaçlar;

    - dijital tasarım araçlarıyla YDD bağlamında ürün seçme yöntemlerini ve
    - YDD bağlamında ürün seçiminde kullanılan dijital araçlarını

irdelemek,

- İkincil amaçlar ise;
    - tasarımcıların veya karar vericilerin YDD bağlamında ürün seçimini dijital tasarım araçlarıyla yapabilirliğini irdelemek;
    - tasarımcı veya karar vericilerin bu araçlar hakkında farkındalığını ve dolayısıyla kullanım yaygınlığını sağlamak;
    - yapı ve yapı ürünlerinin çevre kirliliğine ve insan sağlığına etkisini vurgulayarak çevre dostu yapı tasarımına katkı sağlamak

olarak belirlenmiştir.

Konu, çevre dostu ürün seçiminin öneminin vurgulanması, karar verici veya tasarımcıların çevresel bilincinin artması, çevre dostu yapı ürünlerinin tasarım pratiğine entegre edilebilmesi ve kullanımlarının yaygınlaşması açısından önemlidir.

1.3 Hipotez

Çalışma kapsamında yaşam döngüsü değerlendirmesi bağlamında ürün seçiminde Revit ve Rhinoceros-Grasshopper dijital araçlarına entegre edilebilen Tally, One Click LCA ve Bombyx eklentilerinin irdelendiği bu tezde;

- Yaşam döngüsü değerlendirmesi bağlamında ürün seçimi yapılabilen dijital araçların çalışma kapsamında yapılan irdelemelerle güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenebileceği,
- Belirlenen zayıf yönleri doğrultusunda bu araçların nitelik ve nicelik bağlamında gelecek çalışmalarda faydalanılmak üzere gelişimi için önerilerde bulunulabileceği,
- Dijital tasarım araçlarının uluslararası ve yerel kullanıma ya da kullandığı veritabanına göre farklı değerlendirmeler yapabileceği, dolayısıyla her ülkenin kendi koşullarına uygun aracını geliştirme gereksiniminin ortaya çıkabileceği

varsayılmıştır.

YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının irdelendiği tez çalışması;

- yapıda ürün seçimi yaklaşım ve yöntemlerinden literatürde sıklıkla ele alınmaları nedeniyle Japon, Sneck, Cronberg, Hillerborg, Özkan, Balanlı, Ashby, Lohaus ve Steinborn yöntemleri,
- yapı ürünü YDD modelleri ile ürün seçiminde erişilebilir bulunduklarından Woolley, Anderson ve Gökçe Tuna Taygun modelleri,
- genel YDD araçlarından literatürde sıklıkla ele alınmaları ve yaygın kullanımları ile SimaPro ve GaBi (Bjørn vd., 2017; Sinha vd., 2016),
- dijital tasarım araçlarından bilgisayar destekli tasarım araçları, yapı bilgi modellemesi araçları ve hesaplamalı tasarım araçları,
- yapı bilgi modellemesi ve hesaplamalı tasarım araçlarından sektörde yaygın kullanımları, eklenti potansiyelleri ve geniş ürün kütüphaneleri ile Revit ve Rhinoceros-Grasshopper (Bellido-Montesinos vd., 2019; Freitas vd., 2020; Wahbeh, 2017),
- Revit dijital aracına eklenti şeklinde entegre edilmeleri ve literatürdeki Bueno ve Fabricio (2018), Köseci (2018), Obrecht vd. (2020), Wastiels ve Decuypere (2019) gibi çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen çalışmalarda sıklıkla ele alınmaları nedeniyle Tally ve One Click LCA araçları, Rhinoceros-Grasshopper aracına entegre edilebilen bir eklenti olması ve literatürdeki Budig vd. (2020) ve Hollberg vd. (2020) gibi çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen çalışmalarda sıklıkla ele alınması nedeniyle Bombyx araçları

ile sınırlandırılmıştır.

Çalışma kapsamında Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital tasarım araçları ile YDD bağlamında ürün seçimi, İstanbul'da tasarlanan örnek iki katlı bir konut yapısının betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri üzerinden irdelenmiş ve bu doğrultuda YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının etkilerine ilişkin çıkarımlar yapılmıştır.

Tez çalışmasının ilk bölümünde; konu ile ilgili olarak yapılan literatür özeti, çalışmanın araştırma sorusu, amacı, önemi, hipotezi, sınırlılıkları ve yöntemi

açıklanmış, ikinci bölümünde; yapı ürünü ve yaşam döngüsü değerlendirmesi kavramları irdelenmiş, üçüncü bölümünde; tasarımda yapı ürünü seçiminin yeri ve önemi, ürün seçiminde yaklaşım ve yöntemler ele alınmış, dördüncü bölümünde; yaşam döngüsü değerlendirmesine dayalı ürün seçimi ile bu seçimde faydalanılabilecek yapı ürünü YDD modelleri, yapı ürünü katalogları, elektronik tablo tabanlı araçlar, genel YDD araçları ve dijital tasarım araçları anlatılmış, beşinci bölümünde; YDD bağlamında ürün seçiminde faydalanılabilecek dijital araçlardan Tally, One Click LCA ve Bombyx irdelenmiş ve bu araçların genel özellikleri aktarılarak karşılaştırmalı değerlendirmeleri yapılmıştır. Altıncı ve son bölümde ise tüm çalışma kapsamında elde edilen sonuç verileri ifade edilmiştir.

2
YAPI ÜRÜNÜ VE YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ KAVRAMLARI

Çevre, bir varlığı saran, onunla karşılıklı etkileşimde bulunan, bazı durumlarda karmaşık, değişken ve çok yönlü olabilen ortamı ifade eder. Yaşayan tüm organizmaların yaşamları içerisindeki bütün ilişkilerini kapsayan ortama canlı çevre; cansız varlıkların oluşturduğu ve içinde canlıların yaşamlarının geçtiği ortamlara ise cansız çevre denir (Balanlı ve Öztürk, 2006).

İnsan faaliyetleri sonucunda çevreyi oluşturan öğelerin niteliklerinin değişip değer kaybetmesi ile çevre sorunları oluşur. Hava, su, toprak kirliliği, küresel ısınma gibi sorunlar dünyanın geleceğini ve insan yaşamını tehdit etmektedir. Endüstrileşmeyle birlikte doğal kaynakların tüketiminde meydana gelen artış ve kirletici enerji kaynakları ile üretime dayalı yaşam tarzının çevre üzerindeki olumsuz etkileri, ilk olarak 20. yüzyılın son çeyreğinde gündeme gelmiş ve arrdından çevre sorunlarıyla ilgili önemli adımlar atılmaya başlanmıştır.

Bu doğrultuda ilk olarak 1972'de Birleşmiş Milletler'in Stockholm'de düzenlediği Çevre Konferansı'nda çevrenin korunması ile ilgili ilke ve görüşleri içeren "Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Bildirgesi" yayımlanmıştır ve böylece ilk kez çevre konusu dünya gündemine taşınmıştır. Çevre ile ilgili bir diğer önemli belge, 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu, Brundtland Raporu'dur. Raporda, sürdürülebilir kalkınma "gelecek kuşakların gereksinmelerini karşılama kabiliyetlerini ortadan kaldırmayacak şekilde bugünün gereksinimlerinin gerçekleşmesi" olarak tanımlanmıştır (Brundtland Commission, 1987). Brundtland Raporu'ndan sonra 1992 yılında Rio de Jenerio'da, Stockholm Konferansı'nın ardından geçen yirmi yıldaki politikaları değerlendirmek ve yeni hedefler oluşturmak amacıyla Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı, diğer adıyla Dünya Zirvesi toplanmıştır. Katılan ülkeler sürdürülebilir politikaları benimsediklerini ortaya koymuştur. 2002 yılında düzenlenen Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nde ise ulusal, bölgesel ve küresel ölçekte çözüm

önerileri geliştirilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması, doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir kalkınma stratejileri bu öneriler arasında yer almaktadır.

Sürdürülebilir yaşam fikri ve çevre sorunlarına yönelik çözüm arayışları, her geçen gün önemi artan ve üzerinde çalışmaların devam ettiği konulardır. Çevre kalitesinin gelecek kuşaklara taşınıp sağlıklı yaşam koşullarının oluşabilmesi için sürdürülebilirlik kavramında yapı ve yapı ürünleri kavramları önem arz etmektedir. Yapı sektörü doğal kaynakları en çok kullanan ve çevre sorunlarına en çok sebep olan sektörlerin başında gelmektedir. Dolayısıyla yapıların inşa edilmesinde kullanılan doğal veya türetilmiş yapı ürünlerinin, çevre üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Ürünlerin çevresel etkileri yerel anlamda hammaddelerin kullanım miktarı ile, global anlamda ürünün üretim, kullanım gibi süreçlerinde açığa çıkan kirleticilerin miktarı ile ve yapı sakinlerinin sağlık durumları ile gözlemlenebilir (Harris, 1999; Yüksek ve Mıhlayanlar, 2015).

Yapıların ve yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin belirlenebilmesi ve azaltılması amacıyla çeşitli yöntem ve araçlar geliştirilmiştir. YDD, bu bağlamda yapı ürünlerinin çevresel etkilerini ortaya koyan bir yöntemdir. Geçmişte tasarımcılar tarafından el ile gerçekleştirilen YDD süreçleri gelişen teknolojiler sayesinde bilgisayarlarla yapılmaya başlanmıştır. Bu sayede çeşitli yapı ürünlerinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin ne denli fazla olabileceği kolaylıkla incelenebilir ve değerlendirilebilir bir hale gelmiştir.

Çevre sorunlarının yaşamı büyük ölçüde etkilediği göz önüne alındığında; yapı ürünlerinin seçimi ile bu ürünlerin çevre ile etkileşimine ilişkin verilerin elde edilmesi, değerlendirilmesi ve yorumlanması yaşam döngüsü süreçleri bazında önem kazanmaktadır.

2.1 Yapı Ürünü

İnsanlar varoluşundan itibaren güvenli ve konforlu bir yaşam sürdürebilmek için yapılara gereksinim duymuştur. Geçmişten bu yana artan nüfus, kullanıcı gereksinimleri ve gelişen hayat şartları doğrultusunda yapı sektörü giderek gelişmekte ve değişmektedir.

Barınma, çalışma, eğlenme, sosyokültürel gibi farklı gereksinmeleri karşılayan yapıların üretim süreci, yapıyı oluşturacak temel gereç olan ürünlerin üretilmesi ile başlamaktadır. Doğal çevrede her amaca uygun hazır gereç bulunmamakta ve bu gereçler genel olarak doğada bulunduğu ham hali ile yapıya girememektedir. Yapay süreçlerle çeşitli işlemlerden geçirilen hammaddeler, amaca uygun ve birbirlerine göre daha çok bitirilmiş yapı ürünlerine dönüştürülmektedir (Balanlı, 1997).

Yapı Malzemeleri Yönetmeliği'nde yapı ürünü “Her türlü yapı işlerinde veya bu işlerin herhangi bir kısmında kalıcı olarak kullanılmak üzere üretilen ve piyasaya arz edilen ve performansı yapı işlerinin temel gereklere ilişkin performansını etkileyen bütün malzemeler veya takım malzemeleri” şeklinde ifade edilmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013). Yapı ürünleri işlev, üretim ve bitirilmişliklerine göre:

- Yapı Gereci/Malzemesi; doğal taşlar, ahşap, lifler, plastikler, cam vb.
- Yapı Parçası; bloklar, kiremitler, borular, levhalar, karolar vb.
- Yapı Bileşeni; sömeller, döşeme gövdesi, duvar gövdesi, kapı, kolon vb.
- Yapı Öğesi; temeller, kat döşemeleri, çatılar, merdivenler vb.
- Yapı Birimi; oda, derslik, mutfak vb.

olarak beş başlık altında incelenmektedir (Balanlı, 1997).

Yapı ürünleri 19. yüzyıl öncesinde deneyimlere dayanılarak sınırlı sayı ve çeşitte üretilirken, Endüstri Devrimi’nden sonra üretim teknolojilerindeki değişim ve gelişimlerle birlikte farklı nicelik ve nitelikte ürünler seri üretilmeye başlanmıştır. Yapı ürünlerinde meydana gelen bu çeşitlilik ve üretim sayılarındaki artış, farklı kirleticilerin yüksek miktarlarda doğaya salınmasına ve dolayısıyla çevre sorunlarına sebep olmuştur. Araştırmalara göre yapıların olumsuz çevresel etkilerinin %10-20’si yapı ürünlerinden kaynaklanmaktadır (Edwars ve Bennett, 2003). Bu bağlamda çevre açısından yapı ürünlerinin özelliklerinin bilinmesi, ürünlerin sınıflanması, bilgilerinin düzenlenmesi, geliştirilmesi ve seçiminde seçeneklerinin belirlenerek karşılaştırılabilmesi önem kazanmaktadır (Balanlı, 1997). Yapı ürünlerinin özellikleri çeşitli kaynaklarda genel olarak;

Fiziksel Özellikler; ürünlerin deney teknikleri ile ölçülebilen özellikleri (birim ağırlık, nem ve su ile ilgili özellikler, ısıl iletkenlik, manyetik özellikler vb.),

Mekanik Özellikler; ürünlerin yük taşıma ve dayanıklılıkları ile ilgili özellikleri (çekme ve basınç karşısındaki davranışlar, kesme direnci vb.),

Teknolojik Özellikler; ürünlerin şekil değiştirme, kırılma, sünme gibi özellikleri,

Kimyasal Özellikler; korozyon etkisi, su ve nem etkisi gibi özellikleri,

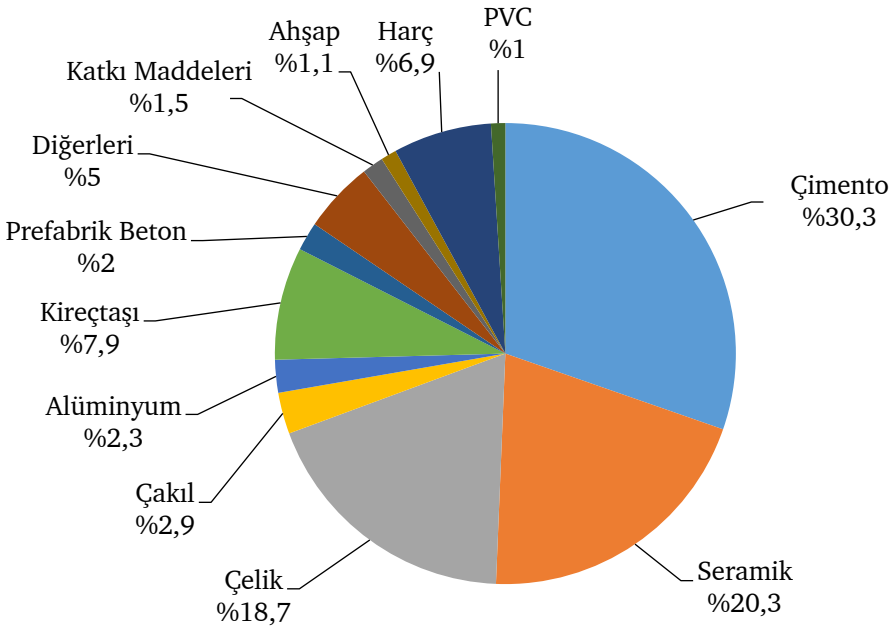
Ekonomi ve Bulunabilirlik; ürünlerin üretim, taşıma, depolama, uygulama, bakım maliyetleri ve kolaylıkla erişilebilir olma özellikleri,

Görsel ve Estetik; Ürünlerin biçim, büyüklük, renk, parlaklık vb. özellikleri

şeklinde altı başlık altında gruplandırılmıştır (Balanlı, 1997; Toydemir, Gürdal ve Tanaçan, 2011; Zhang, 2011). Ancak 21. Yüzyılın küresel sorunları ve gereksinmeleri bağlamında yapılan çevre ile ilgili yapılan çalışmalar doğrultusunda bu gruplandırma sisteminin yapı ürünlerin insan sağlığı, sürdürülebilirlik ve çevre ile uyumunu değerlendirmesi açısından yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Bu bağlamda yapı ürünleri, belirtilen altı özelliğe ek olarak çevre ile ilişkileri açısından detaylı irdelenmelidir.

Yapı ürünleri, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir yere sahiptir. Yapı ürünü kararlarının doğru verilmesi ile ürünün tüm süreçleri için harcanan enerji ile açığa çıkan atıklar azaltılıp çevre üzerindeki olumsuz etkiler en aza indirgenmiş olur. Zabalza Bribian, Capilla ve Uson (2011) tarafından yapılan çalışmada, bir apartman bloğunun inşaatında kullanılacak yapı ürünlerinin üretiminin CO_2 emisyonlarına katkısı incelenmiştir.

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere 1 m^2 (brüt taban alanı) inşaatı için çelik, çimento ve seramik gibi yaygın kullanılan yapı ürünlerinin üretiminin diğer ürünlere oranla CO_2 emisyonlarına ve çevreye olumsuz etkileri daha fazladır. Dolayısıyla karşılaştırma yaparak ürünleri doğru seçebilmek için her ürünün çevresel özelliklerini değerlendirmek ve ortaya koymak gerekmektedir.



Şekil 2.1 Farklı yapı ürünlerinin üretiminde açığa çıkan CO_2 emisyon oranları (Zabalza Bribián vd., 2011'den uyarlanmıştır.)

2.2 Yapı Ürünü-Çevre İlişkisi

Yapı ürünlerinin çevresel özelliklerini ortaya koyabilmek için ürünlerin hangi süreçlerden geçtiğinin ve bu süreçlerde çevre üzerinde ne gibi etkileri olduğunu bilmek önem kazanmaktadır. Yapı ürünleri;

- Yapı ürününün tasarlanması,
- Hammadde elde edilmesi,
- Yapı ürününün üretimi,
- Yapı ürününün satışı,
- Yapı ürününün yapım sırasında uygulanması,
- Yapı ürününün kullanımı, bakım ve onarımı, kullanımının yinelenmesi,

Yapı ürünü faydalı ömrünü tamamladıktan sonra;

- Yapı ürününün geridönüşümü,
- Yapı ürününün yok edilmesi

süreçlerini içerir. Ürünler tüm süreçlerde, çevre ile etkileşim içerisindedir (Tuna Taygun ve Balanlı, 2013).

Yapı Ürününün Tasarlanması Süreci

Gereksinimler doğrultusunda nasıl ve ne miktarda bir yapı ürünü elde edilmek istendiğinin karar verildiği ve çevresel sürdürülebilirlik bağlamında kaynakların (hammadde, malzeme vb.) tüketiminin ve atık üretiminin, yeniden kullanım ve geri dönüşümün planlandığı süreçtir.

Hammadde Edinimi Süreci

Bir yapı ürününün üretilmesi için gerekli olan hammaddenin yeryüzünden elde edilmesi ile başlayıp işlenme noktasına ya da kullanım alanına taşınması ile son bulur. Yapılar ve altyapı sistemleri gibi tüm çevre unsurları, yapımlarında kullanılacak olan malzemelerin üretimi için hammadde ve enerji gerektirir. Bu hammaddeler (demir cevheri, kireçtaşı, mermer, kereste vb.) yeryüzünden elde edilir ve çeşitli teknolojiler ile işlenerek farklı düzeydeki yapı ürünlerine dönüştürülür (çelik, çimento vb.)(Crawford, 2011; The U.S. Environmental Protection Agency, 2006).

Talepleri karşılamak için demir cevheri, petrol gibi yenilenemeyen kaynakların sürekli kullanımı, zamanla bunların tükenmesine sebep olacaktır. Hammaddelerin edinimi bu doğal kaynakların nihai olarak tükenmesine neden olurken önemli miktarlarda enerji ve su tüketip katı, sıvı ve gaz atıklar oluşturarak çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Crawford, 2011; Tuna Taygun ve Balanlı, 2005).

Hammadde edinimi sürecinde ortaya çıkan çevresel etkilerin en aza indirgenmesi, yapı ürünlerinin çevre üzerindeki toplam zararlarının azaltılmasına yardımcı olacaktır. Bu süreçteki çevresel etkiler; zehirli olmayan, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen, geri kazanılabilir ve geri dönüştürülmüş malzemelerden yapılmış yapı ürünlerinin yeniden kullanılması ile en aza indirilebilir (Bayraktar, 2010; Yüksek ve Mıhlayanlar, 2015).

Yapı Ürününün Üretimi Süreci

Üretim süreci, elde edilen hammaddenin fabrikaya taşınması ile başlayıp; işlenmesi, ürüne dönüştürülmesi/paketlenmesi ve inşaat alanına taşınmasıyla sonlanır. Bu süreçte ürün, çevre ile sürekli etkileşim içerisindedir. Üretimde enerji

girdileri, işgücü, hammadde, araç ve gereçler kullanılırken süreç sonlandığında yapı ürünleri ve yan ürünler ile çevreye zararlı hava emisyonları, sıvı ve katı atıklar oluşabilmektedir (Ding, 2014; Gültekin ve Çelebi, 2016; Terzi, 2009; Tuna Taygun ve Balanlı, 2005). Üretim süreci üç adımdan oluşur: gerecin üretimi, ürünün üretimi ve ürünün dolduruması/paketlenmesi/dağıtımı.

Gerecin üretimi, hammaddenin bitmiş bir ürünü üretmek için kullanılabilecek bir forma dönüştürülmesi işlemidir (The U.S. Environmental Protection Agency, 2006; Tuna Taygun, 2005). Örneğin, topraktan çıkarılan demir cevheri bir dizi kimyasal işlemden geçirilir ve başka bir elementle (karbon gibi) birleşerek çeliği oluşturur (Crawford, 2011).

Ürünün üretimi, gereçten daha çok bitirilmiş (parça, bileşen, öge, birim) bir ürünün elde edilmesi işlemidir (Tuna Taygun, 2005). Bu süreç, detaylı gereç işleme süreçlerini (örneğin, inşaat için gerekli şekil ve boyutlarda kerestenin kesilmesi), farklı bileşenlerin birbirine eklenmesini (beton elde etmek için için çimentoya agrega ve su eklenmesi gibi) veya şekillendirme ve fabrikasyon işlemlerini (örneğin düz çelik bir levhanın trapez çatı levhasına dönüştürülmesi) içerir (Crawford, 2011).

Dolum, paketleme, dağıtım işlemleri ile, ürünler paketlenerek son haline getirilir ve dağıtıma hazırlanır; perakende satış noktalarına ya da doğrudan tüketiciye taşınır. Bu adım, nakliye gibi ulaşım ile ilgili çevresel etkileri de içerir.

Üretim sürecinde insana ve çevreye doğrudan ya da dolaylı yoldan zarar veren pek çok katı, sıvı veya gaz atık oluşmaktadır. Örneğin çimento üretimi, küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %5'ine sebep olmaktadır (Huntzinger ve Eatmon, 2009). Bu durum çimentonun üretiminde kullanılan kömür gibi fosil yakıtların, atmosferdeki CO_2 ve diğer gazların oranını artırması sonucu meydana gelir. CO_2 oranının artması da küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi geniş çaplı çevre sorunlarına sebep olur. Çevresel etkileri azaltmak için üretim sürecinde; düşük yoğunluklu endüstriyel işlemler, enerji etkin ve su tüketimini azaltan malzemeler, yöntemler ve/veya sistemler seçilebilir (Bayraktar, 2010; Yüksek ve Mıhlayanlar, 2015).

Yapı Ürününün Satış Süreci

Satış sürecinde, üretim sürecinde paketlenen ürünler dağıtıma ve satışa çıkarılır. Bu süreçte yapı ürünü, araç ve gereç kullanılmakta, enerji, iş gücü ve anamal tüketimi gerçekleşmektedir. Satışı gerçekleşecek olan ürünün paketlenmesi önemli oranda kaynak tüketimine sebep olur ve çöp depolama alanları üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Bu doğrultuda paketleme sırasında dayanıklı ve ekolojik ürünlerin tercih edilmesi çevre açısından önemlidir (Akın, 2018; Ding, 2014; Tuna Taygun ve Balanlı, 2005).

Ürünün Yapım Sırasında Uygulanması Süreci

Ürünün yapım sırasında uygulanması sürecinde, üretilen yapı ürünleri uygulanacakları yere taşınır. Ürünlerin uygulanması, inşaat alanında veya atölyelerde önyapımlı olarak gerçekleştirilebilir.

Uygulama sürecinde enerji, işgücü ve anamal tüketilirken hava emisyonları, sıvı ve katı atıklar oluşabilmektedir. Sayısal veriler, ABD'de yaklaşık %30, Kanada'da %35 ve İngiltere'de %50 civarında inşaat atığı oluştuğunu göstermektedir. Bu atıklar genellikle sahada yetersiz atık yönetiminin olduğu durumlarda gerçekleşir. Eğer süreç uygun bir şekilde planlanıp yönetilirse atıkların azaltılması ve geri dönüşümü gerçekleştirilebilir (Crawford, 2011; Ding, 2014; Tuna Taygun ve Balanlı, 2005). Örneğin artan hazır betonlar bir başka karışımda, kaldırım bloğu veya yol kaplaması gibi imalatlarda kullanılabilir (Yüksek ve Mıhlayanlar, 2015). Ürünlerin yapıya uygulanması sürecinde atık yönetimi dışında işçilik, ekipman ve uygulama için geçen süre gibi etkenler de çevre açısından önem kazanmaktadır.

Uygulama sürecinde kullanılan yapı ürünleri çevre ile birlikte canlıların sağlık ve konfor durumunu etkiler. Özellikle üretimde kullanılan kimyasal maddeler, bazı yapı ürünlerinin, birçok uçucu organik bileşik türünü salmasına neden olabilmektedir. Örneğin boya, yapıştırıcı, kaplama, linolyum gibi ürünler, uygulanma anlarından başlayarak yoğun düzeyde benzen, formaldehit, tolüen vb. uçucu organik bileşiklerin salınımını yaparlar. Salınan bu bileşikler soluma veya temas gibi yollarla uygulama yapan kişilerin sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir

(Darçın, 2014; Tuna Taygun ve Balanlı, 2005). Bu bağlamda yapı ürünlerinin çevre ve canlı sağlığı üzerindeki etkileri öngörülerek planlama ve ürün seçimi yapılması önemlidir.

Yapı Ürününün Kullanım Süreci

Yapı ürününün kullanımı, ürünün üretim yerinden, satışından veya uygulanmasının tamamlanması ile başlayan ve kullanımının sona ermesi ile biten süreçtir. Ürünler kullanım, bakım ve onarım ile zamanla yenilenme süreçlerinde çevre ile etkileşim içerisindedir. Bu süreçte yapı ürünleri, amaca yönelik bir işleve hizmet vermeye başlar (Gültekin ve Çelebi, 2016; Tuna Taygun, 2005).

Bu süreçte yapı ürünlerinin ömürleri ve performansları göz önünde bulundurulmalıdır. Faydalı ömrü daha uzun olan ürünler daha az bakım ve onarım gerektirir ve daha az atık oluşturur. Dolayısıyla işçilik giderleri ve doğal kaynakların tüketimindeki azalma ile çevresel etkiler de azalmış olur. Yapım maliyetinin %50'sinin bakım onarım faaliyetlerinden oluşturduğu göz önüne alındığında, tercih edilen yapı ürününün özelliklerinin önemi açıkça görülebilmektedir (Şentürk, 2008).

Bazı yapı ürünlerinden iç ve dış ortama yayılan zararlı maddeler, yapı ürününün kullanımı sürecinde yapı içi hava kirliliğine sebep olarak kullanıcı sağlığına zarar verebilmektedir (Darçın, 2014). Örneğin boya ve yapıştırıcı gibi yapı ürünlerinden kaynaklanan uçucu organik bileşenlerden benzen kansere; beton, alçı, tuğla gibi yapı ürünlerinden kaynaklanan radon akciğer kanserine; sıva, tuğla ve bazı yalıtım ürünlerinden kaynaklanan asbest ise asbestosis ve akciğer kanseri gibi hastalıklara sebep olarak kullanıcı sağlığını etkilemektedir (Tuna Taygun ve Balanlı, 2005).

Yapı Ürününün Geri Dönüşüm Süreci

Atıkların ve kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin, aynı ya da farklı ürünlerin üretiminde kullanılmak üzere geri dönüşümü süreçlerini içerir. Bu süreçte geri dönüşüm için araç ve gereçlerin kullanımı ile enerji, işgücü ve anamal tüketimi gerçekleşirken geri dönüşüm ile hammaddeler, katı, sıvı ve gaz atıklar oluşabilmektedir (Tuna Taygun ve Balanlı, 2005).

Ürünlerin geri dönüşüm süreçleri, doğal kaynakların verimli kullanımı, enerji tasarrufu, atık miktarlarında azalma sağladığı için önemlidir. Bu sayede yapının çevresel ve ekonomik maliyetlerinde de azalmalar meydana gelir. Belirli gereçlerden oluşmuş (örn. çelik, beton, ahşap, vb.) veya kolayca parça düzeyinde farklı bölümlere ayrılabilen ürünlerin yeniden kullanımı veya geri dönüştürülmesi genellikle en kolay olanlardır (Kralj ve Markič, 2008). Örneğin sunta, doğramalar ve döşemeler geri dönüştürülmüş ahşaptan, zemin kaplamaları geri dönüştürülmüş plastikten, yalıtım malzemeleri ise geri dönüştürülmüş selülozdan üretilebilir (Spiegel ve Meadows, 2012).

Yapı Ürününün Yok Edilmesi Süreci

Yapı ürününün kullanım ömrünün ve işlevinin sona erdiği süreçtir. Yok edilme sürecinde ürünler yeniden kullanılmak, geri dönüştürülmek veya atık olmak üzere ayrıştırılırlar. Bu süreçte enerji, işgücü ve anamal tüketimi gerçekleştirilirken yok edilme işlemleri için araç ve gereçler kullanılmaktadır. Süreç sonunda; enerji, hava emisyonları, sıvı ve katı atıklar oluşabilmektedir (Tuna Taygun ve Balanlı, 2005).

Genel olarak bu süreçte tekrar kullanım ve geri dönüşüm olanakları, yok etme yöntemleri, tehlikeli madde içeren yapı ürünlerinin yok edilmesi için geliştirilen özel işlemler ile bu işlemler için kullanılacak taşıma mesafeleri belirlenmektedir (Sayın, 2020). Yok edilme süreci ile ilgili çevresel etkiler, yıkım makineleri için kullanılan yakıttan ve atıkların depolama sahasına veya ürünlerin geri kazanım sahalarına taşınmasından kaynaklanan emisyonlar dahil olmak üzere, yıkım ve malzeme kaldırma süreçleriyle ilişkili etkileri içerir. Örneğin bazı ürünler atık sahasına atıldığında, kimyasalları toprağa sızdırabilir ve potansiyel olarak çevredeki ortamın ötrofikasyonuna neden olabilir. Bunun dışında ahşap gibi organik maddeler ayrışırken toprağa ve atmosfere karbondioksit ve metan gibi gazları salabilir (Crawford, 2011). Bu sebeple yok edilme sürecinde çevresel etkilerin azaltılması için kolay geri dönüştürülebilir, doğada kolay yok olabilen ve ürünün tüm süreçleri boyunca az atık üreten malzemelerin kullanımı artırılmalıdır (Yüksek ve Mıhlayanlar, 2015).

Yapı ürünlerinin bahsedilen tüm süreçlerinde, çevre ve insan sağlığı üzerinde farklı pek çok etki meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu ürünlerin çevre üzerindeki etkilerinin sistemli ve genel geçer bir biçimde ortaya konması sürdürülebilirlik açısından önem kazanmaktadır. Bu bağlamda yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin ve performanslarının değerlendirmesi amacıyla yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi geliştirilmiştir.

2.3 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

YDD; ürünlerin hammaddelerin edinimi, işlenmesi, üretimi, uygulanması, kullanımı, bakımı, onarımı ve kullanım ömrü sona ermesi ile yok edilmesi veya geri dönüştürülmesi süreçlerini ve tüm süreçler arasında taşımayı da içine alan bir döngü boyunca oluşmuş ve olası çevre etkilerinin derlendiği ve değerlendirildiği, ürünün seçim kararına yardımcı olabilecek bir araçtır (Crawford, 2011; Curran, 1996; Tuna Taygun, 2005).

Yaşam döngüsünün tüm süreçleri, çevre ile etkileşim içerisindedir. Döngüler Şekil 2.2'de görülebildiği üzere kapalı veya açık olabilir. Kapalı döngü; kullanım ömrünü tamamlayan ürünün, aynı yapı ürünü üretiminde kullanılmak amacıyla geri dönüştürülmesidir. Açık döngü ise faydalı ömrünü tamamlayan yapı ürününün farklı bir yapı ürünü üretiminde kullanılmak üzere geri dönüştürülmesidir (Tuna Taygun ve Balanlı, 2005).

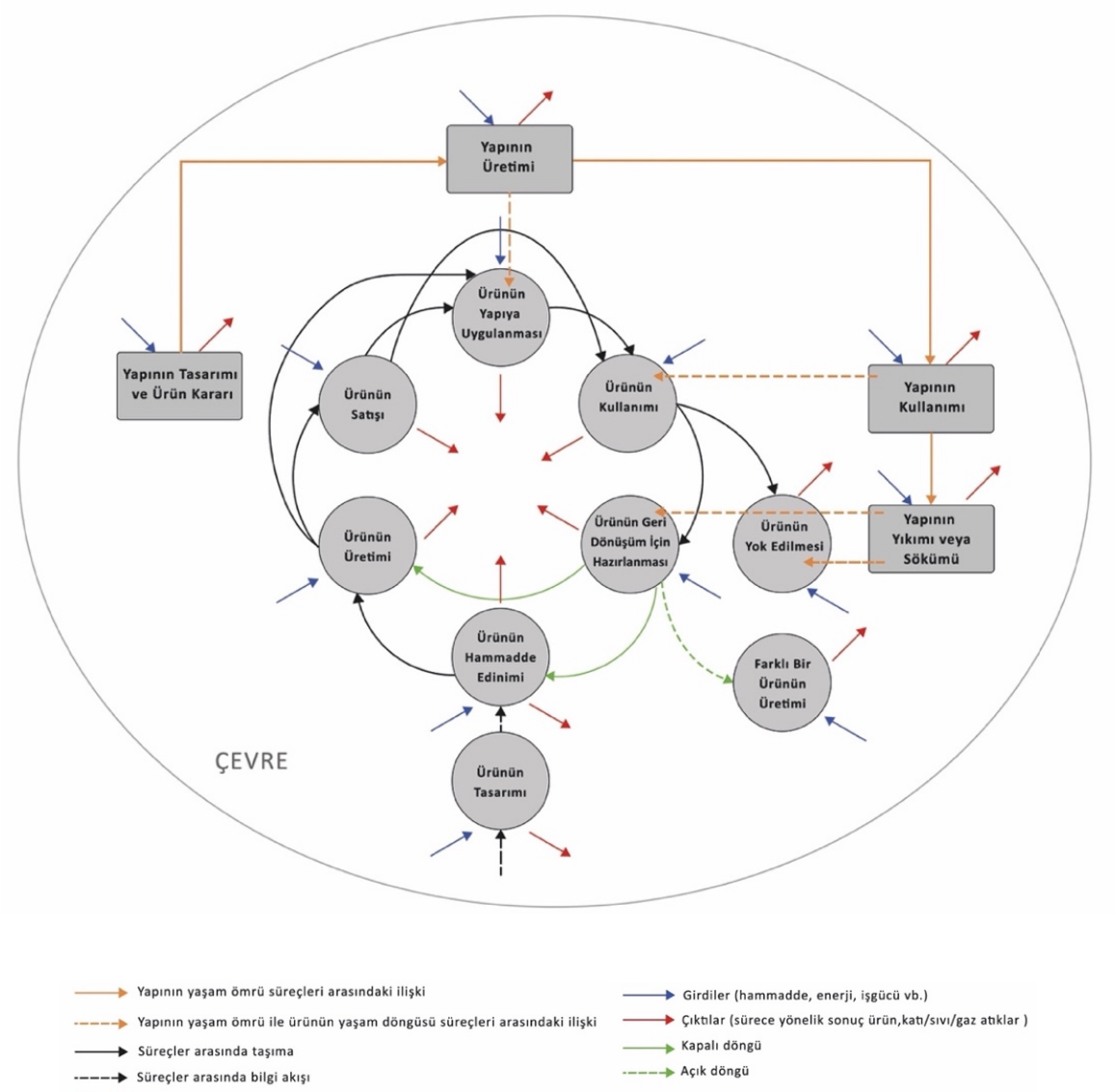
ISO 14040 (2006)'ya göre YDD; bir ürünün yaşam döngüsü boyunca çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi için girdi ve çıktı verilerinin toplanması, bu veriler doğrultusunda çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve envanter analizi ile etki değerlendirmesi adımları sonuçlarının çalışma amacıyla ilişkili şekilde yorumlanmasını içeren bir tekniktir. YDD'nin ilkeleri;

- Girdilerin çevresel yüklerini belirlemek ve ölçmek,
- Belirlenen olası girdi ve salınım yüklerinin çevresel etki değerlendirmelerini yapmak,
- Çevreye en az seviyede zarar verecek ürünlerin seçilmesini sağlamak

şeklinde üç başlık altında toplanabilir (The U.S. Environmental Protection Agency, 2006; Tuna Taygun ve Balanlı, 2005). Belirtilen ilkeler doğrultusunda YDD ile;

- Çevrenin ve doğal kaynakların korunması ile tüketimlerinin azaltılması,
- Çevre kirliliğinin önlenmesi,
- Çevre ile ilgili yasa ve yönetmeliklerin geliştirilmesi,
- Çevre yönetim sistemlerinde çevresel performans değerlendirme çalışmalarının geliştirilmesi,
- Çevre dostu ürünlerin üretiminin teşvik edilmesi ve sağlanması,
- Ürünün süreçleri sonucu ortaya çıkan çevresel ve sağlığa zararlı etkilerin azaltılması

amaçlanmaktadır (Tuna Taygun, 2005).



Şekil 2.2 Yapı ürünlerinin ve yapının yaşam döngüsü süreçleri, süreçlerin birbirleri ve çevre ile olan ilişkileri (Tuna Taygun, 2019)

YDD yöntemi ile elde edilen çevresel bilgiler, bir ürün veya süreç seçmek için maliyet ve performans verileri gibi diğer faktörlerle birlikte kullanılabilir. YDD verileri, çevresel etkilerin bir ortamdan diğerine ve/veya bir yaşam döngüsü adımından diğerine aktarımını tanımlar (The U.S. Environmental Protection Agency, 2006). YDD yöntemi;

- Ürün veya hizmetlerin çeşitli yaşam döngüsü noktalarında çevresel performanslarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde,
- Endüstri ve kamu kuruluşlarının karar vericilerinin bilgilendirilmesinde,
- Çevre etiketi uygulaması, çevresel bir beyannamenin hazırlanması veya çevresel ürün açıklaması geliştirilmesinde

destek sağlar (ISO 14040, 2006).

Kullanım alanının genişliği ve sağladığı faydalar doğrultusunda YDD, farklı alanlardaki karar vericilere yardımcı olmaktadır. YDD kullanıcıları; endüstri, özel şirketler, kamu kurum ve kuruluşları, çevre grupları ve tüketiciler şeklinde sıralanabilir (Bayraktar, 2010; Laurin, 2017).

YDD ile ilgili çalışmalar, kaynak ve enerji verimliliği, kirlilik kontrolü ve katı atıklar gibi çevresel konuların kamuoyunu ilgilendiren konular haline geldiği dönemde başlamıştır. İlk çalışmalardan biri, 1963 yılında düzenlenen The World Energy Conference'daki Harold Smith'e ait rapordur (The U.S. Environmental Protection Agency, 2006). 1970'lerin başındaki petrol kıtlığı ile birlikte ise ABD ve İngiliz hükümetleri, enerji analizleri yapmak için endüstriyel çalışmalar başlatmıştır. Bu doğrultuda cam, plastik ve çelik dahil olmak üzere endüstriyel üretim için malzemelerin enerji tüketimini ölçmeyi amaçlayan YDD yöntemleri geliştirilmiştir (Anwar, 2020; Curran, 1996; Hunt vd., 1996).

1990'ların başlarına doğru, yerel sorunlar yerini ozon incelmesi ve iklim değişikliği gibi küresel çevre sorunlara bırakmıştır. Bu dönemde Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (United Nations Conference on Environment and Development), küresel ısınma için standartlar belirlemek üzere 150 ülkeyi Rio'da bir araya getirmiş, uluslar çevre kirliliği ve kirlilik kaynaklı tehlikeler hakkında

değerlendirmelerde bulunmuşlardır. 1987'de ise Birleşmiş Milletlerin (BM, United Nations) yayınladığı Brundtland Raporu, sürdürülebilirlik ve YDD kavramlarını öne çıkararak bu alanlara olan ilgiyi teşvik etmiştir.

YDD yöntemi için uluslararası bir standart oluşturmak amacıyla ilk girişim 1990'lı yıllarda SETAC tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar ile YDD yöntemi ve terminolojisi açık bir şekilde ortaya konmuştur. 1990'lı yılların sonlarında SETAC standartları düzenlenerek ISO standartları oluşturulmuş ve ISO 14040 serisi ortaya çıkmıştır (McManus ve Taylor, 2015). ISO, 165 farklı ülkedeki ulusal standart kuruluşları aracılığıyla özel, endüstriyel ve ticari standartlar geliştirip yayınlayan uluslararası bir kuruluştur.

ISO standartları, sürdürülebilirlik kavramına dikkat çekmeyi ve hayata geçirmeyi hedeflemektedir. YDD süreci, Çevre Yönetim Sistemi Standartlar serisi ISO 14000 kapsamında bulunan ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarında açıklanmaktadır. ISO 14040 serisinde YDD yöntemi ele alınırken diğer ISO 14000 serilerinde eko-tasarım (ISO 14062, ISO 14006), çevresel performansın iletişimi (ISO 14020 ve ISO 14063), sera gazı raporlaması (ISO 14064) gibi YDD uygulamalarına ilişkin standartlar ve kılavuzlar yer almaktadır (Bjørn vd., 2017).

İlk olarak 1997 yılında YDD yönteminin ilkeleri ve çerçevesini açıklayan ISO 14040 Çevresel Yönetim-Hayat Boyu Değerlendirme (Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework) standardı yayımlanmıştır. Bu standardı 1998'de hedef tanımı ve envanter analizi konularını ele alan ISO 14041 ve 2000 yılında sırasıyla yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve yorumunu kapsayan ISO 14042 ve ISO 14043 standart serileri izlemiştir. 2006'da ISO 14041, ISO 14042, ISO 14043 standartları yürürlükten kaldırılmış ve bu standartlar yeniden düzenlenerek ISO 14040 ve ISO 14044:2006 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines standartları kapsamına alınmıştır (Najjar vd., 2017; Pryshlakivsky ve Searcy, 2013).

Türkiye'de sürdürülebilir politikalar anlamında Türk Standardları Enstitüsü (TSE), ISO standartlarını kabul edip yürürlüğe koymuştur. 1998 yılında ISO

standartlarının ilk kez kabul edilmesi ile başlayan süreç, yapılan düzenlemelerle 2007 yılında "TS EN ISO 14044 Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme-Gerekler ve Kılavuz" standartlarının yayımlanması ile son halini almıştır. YDD'nin tarihsel süreci ile ilgili seçilmiş olaylar Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 YDD tarihi ile ilgili seçilmiş olaylar (Bjørn vd., 2017'den uyarlanmıştır.)

YDD Tarihi ile İlgili Seçilmiş Olaylar	Yıl
Harold Smith tarafından YDD odaklı tarihteki ilk rapor yayımlanmıştır.	1963
U.S. EPA tarafından halka açık ve hakemli ilk YDD çalışması yayımlanmıştır.	1974
YDD terminolojisini ve yöntemini uyumlu hale getirmek amacıyla SETAC Uygulama Kuralları yayımlanmıştır.	1993
YDD yönteminin çerçevesi ve ilkeleri hakkında ISO 14040 yayımlanmıştır.	1997
YDD yönteminin hedef ve kapsam tanımına ilişkin ISO 14041 yayımlanmıştır.	1998
Yaşam döngüsü etki değerlendirmesine ilişkin ISO 14042 standardı yayımlanmıştır.	2000
Yaşam döngüsü yorumuna ilişkin ISO 14043 standardı yayımlanmıştır.	2000
ISO 14041, ISO 14042, ISO 14043 standartları yürürlükten kaldırılmıştır. Revizyonlarla ISO 14040 ve ISO 14044 aracılığıyla YDD kılavuzu oluşturulmuştur.	2006
TSE tarafından TS EN ISO 14044 yürürlüğe konmuştur.	2007
EN 15978:2011 İnşaat İşlerinin Sürdürülebilirliği-Binaların Çevresel Performansının Değerlendirilmesi-Hesaplama Yöntemi (Sustainability of Construction Works Assessment of Enviromental Performance of Buildings-Calculation Method) standardı yürürlüğe konmuştur.	2011
EN 15804:2012 Yapım İşlerinde Sürdürülebilirlik-Çevresel Ürün Beyanları-Yapı Ürünü Kategori Kuralları (Sustainability of construction Works-Environmental product declarations-Core rules for the product category of construction product) standardı yürürlüğe konmuştur.	2012
ISO 21930 Yapı ve İnşaat İşlerinde Sürdürülebilirlik-Yapı Ürünü ve Servislerinin Çevresel Ürün Beyanlarınının Ana Kuralları (Sustainability in buildings and civil engineering works-Core rules for environmental product declarations of construction products and services) standardı yürürlüğe konmuştur.	2017

Genel YDD yönteminin tanımlandığı ISO 14040 serisine ek olarak yapı ürünlerinin YDD'sine yönelik ISO 21930:2017, Avrupa Standardizasyon Komitesi (European

Committee for Standardization-CEN) tarafından EN 15804:2012 ve EN 15978:2011 standartları geliştirilmiştir (Tablo 2.1). Yapı ürünlerinin YDD'sine yönelik geliştirilen ISO 21930 standardı, yapı ürünleri ve hizmetlerinin Tip III çevre etiketlerinden, EPD'ler için ürün kategori kuralları ilke ve gereklilikleri tanımlayarak ISO 14025 standardını tamamlar (ISO 21930, 2017). Çevre etiketleri; bir ürün veya hizmetin, belirlenen çevresel ölçütlere uygunluğu doğrultusunda verilen, güvenilir bilgi sağlayan, genellikle gönüllülük esasına dayalı etiketlerdir. (Kara, 2011; TS EN ISO 14020, 2002). ISO, 14020 standardı çerçevesinde farklı hedeflere yönelik Tip I, Tip II ve Tip III şeklinde üç tip çevre etiketi tanımlamıştır. Tip I ve Tip II çevre etiketleri YDD bağlamında ürünlerle ilişki kurmazken; Tip III etiketi, üreticilerin ürünlerini yaşam döngüsü yaklaşımı doğrultusunda değerlendirmesine olanak sağlar. Tip III etiketleri, aynı işlevi yerine getiren ürünlerin karşılaştırması için ürünler hakkında nicel çevresel bilgiler sunan etiketleme tipidir. Gönüllülük esasına dayanır ve üçüncü taraflarca doğrulanır (ISO 14021, 2016; ISO 14024, 2018; ISO 14025, 2006). EPD (Çevresel Ürün Beyannameleri-Environmental Product Declaration) ve FSC (Orman Yönetim Konseyi-Forest Stewardship Council) etiketleri, Tip III çevre etiketlerine örnek verilebilir.

EPD, aynı amaca yönelik ürünlerin çevresel performanslarının değerlendirilmesini sağlayan, uluslararası geçerli bir etikettir (ISO 14025, 2006). EPD kapsamında ürünlerin çevresel etkileri; ürünlerin üretiminde kullanılan hammaddeler, enerji ve su kullanımı, havaya, suya ve toprağa yapılan salınımlar, atık oluşumları, geri dönüşüm, taşıma gibi açılardan nicel bir yaklaşımla değerlendirilir.

Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik geliştirilen bir diğer standart olan EN 15804, yapı ürünlerinin YDD yöntemi ile değerlendirilmesini sağlayan kapsamlı bir standarttır. Bu standart ile yapı ürünlerinin EPD'lerinin sistemsel yapısı ve bu EPD'lerin YDD ile olan ilişkisi belirlenir (CEN, 2013).

Yapı ürünlerinin YDD'sine yönelik geliştirilen standartlardan sonuncusu olan EN 15978 ise, bir yapının çevresel performansını değerlendirmek için hesaplama yöntemlerini belirleyen ve değerlendirme sonuçlarının rapor edilmesi için araçlar sunan standarttır. Çevresel performans değerlendirmeleri yapının ve yapı

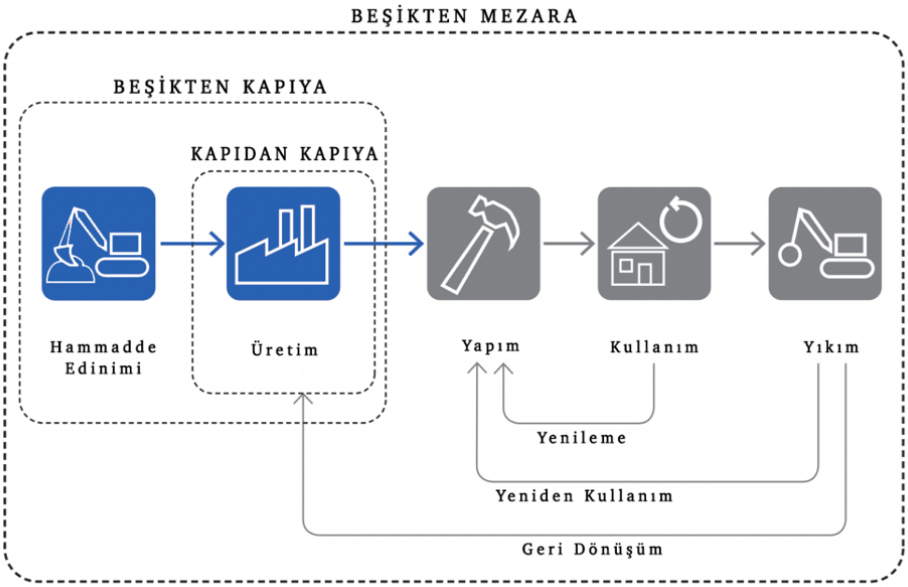
ürünlerinin tüm yaşam döngüsü süreçlerini kapsamaktadır. Değerlendirmeler, yapı ürünlerinin EPD verileri doğrultusunda gerçekleştirilir (CEN, 2011). Belirtilen tüm standartlar, yapı ve yapı ürünlerinin YDD'sinin uluslararası platformda kullanımını yaygınlaştırmak ve kolaylaştırmak için geliştirilmiştir.

2.4 Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Süreçleri

The ISO 21930, EN 15804 ve EN 15978 standartları doğrultusunda yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçleri standartlaştırılmıştır. Süreçler, bazı sınırlar kapsamında ifade edilmektedir. Yapı ürününe ilişkin YDD süreçlerinin sınırları:

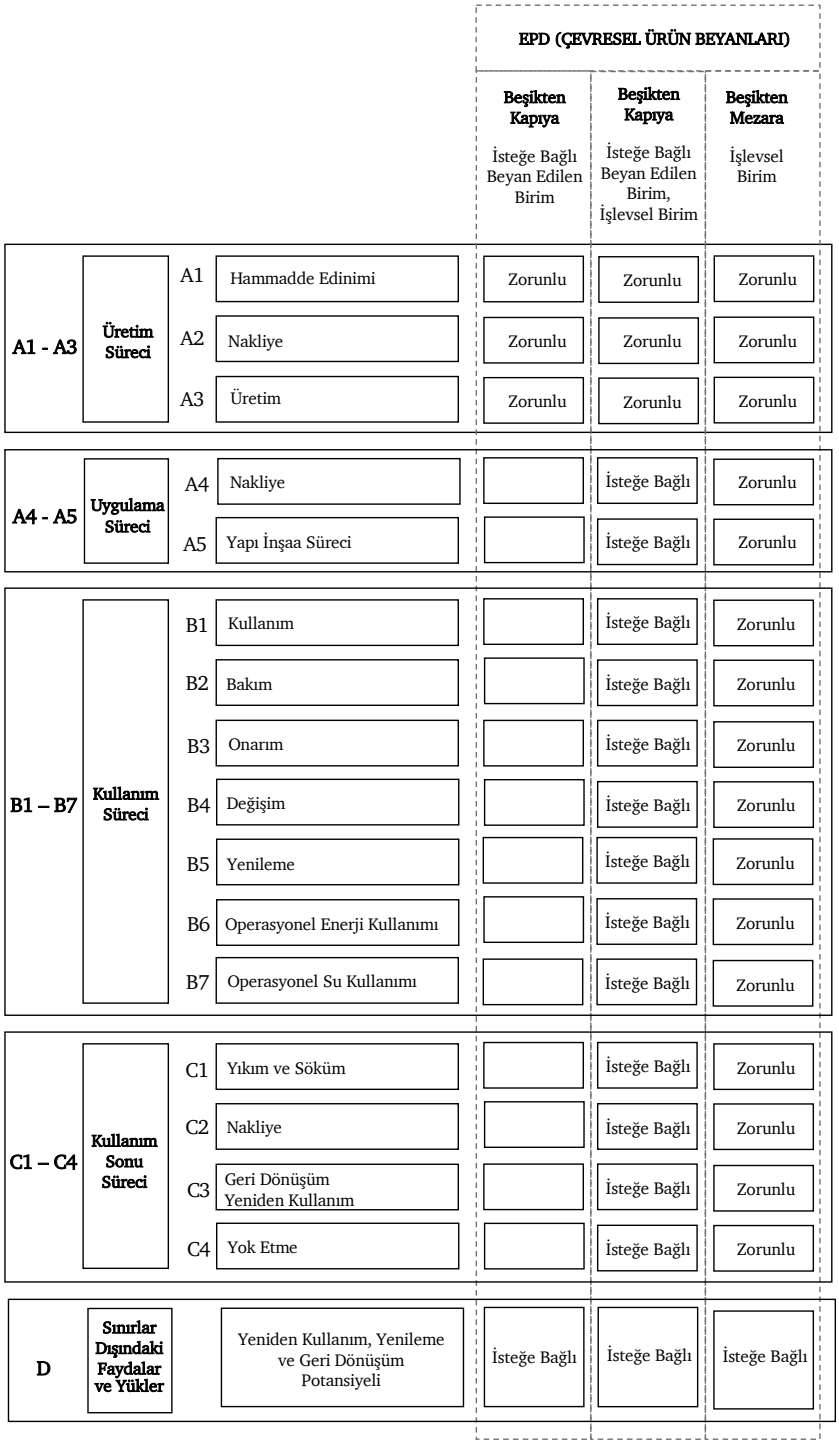
- Beşikten kapıya (cradle-to-gate): Yapı ürününün üretimi için gerekli hammaddenin edinimi ile başlayan, ürünün işlenmesi ve sahaya taşınmasına kadar geçen sürecin değerlendirmesi,
- Beşikten mezara (cradle-to-grave): Yapı ürününün üretimi için gerekli hammaddenin edinimi ile başlayan ve faydalı ömrünün tamamlanması ile sonlanan sürecin değerlendirmesi,
- Beşikten beşiğe (cradle-to-cradle): Beşikten mezara sürecine ek olarak yeniden kullanım ve/veya geri dönüşüm süreçlerinin de değerlendirmesi

şeklinde üç farklı kategori ile tanımlanabilir (Şekil 2.3) (Silvestre vd., 2016).



Şekil 2.3 Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçlerinin sınırları (Simonen, 2014'ten uyarlanmıştır.)

ISO 21930'a göre yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçleri; üretim süreci (A1-A3), uygulama süreci (A4-A5), kullanım süreci (B1-B7), kullanım sonu süreci (C1-C4) ve sistem sınırlarının ötesindeki faydalar ve yükler (D) olarak beş gruba ayrılmaktadır (Şekil 2.4) (ISO 21930, 2017).

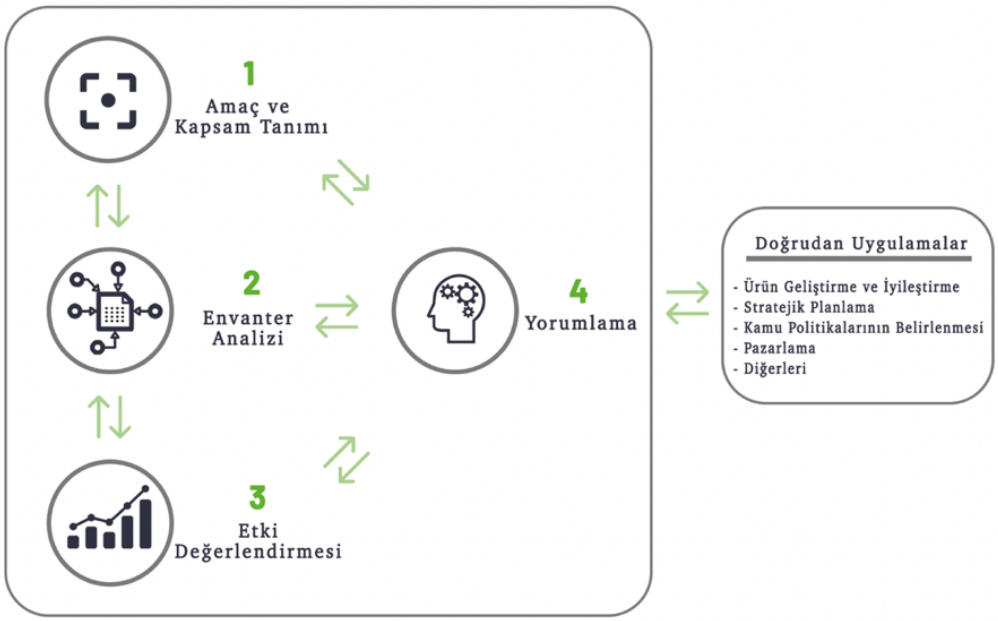


Şekil 2.4 ISO 21930'a göre yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçleri (ISO 21930, 2017'den uyarlanmıştır.)

Yapı ürünlerinin YDD'si gerçekleştirilirken ürünlere ait süreçlerin ve sınırların belirlenmesi önem arz etmektedir. Süreç ve sınırların belirlenmesi ile hangi işlemlerin YDD hesaplamalarına dahil edileceği belirlenmiş olur. Hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler yapıların değerlendirmelerinde kullanılacağından süreçler ve sınırlar şeffaf olmalıdır (Birgisdóttir ve Rasmussen, 2016).

2.5 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemi

Yapı ürünlerinin YDD'si, süreçlerin tanımlanması sonrasında ürünlerin çevresel etkilerine ait verilerin toplanması ve yorumlanması doğrultusunda gerçekleşir. Hesaplama ve değerlendirmelerin ortak bir zeminde yapılabilmesi için ISO 14040 kapsamında YDD yöntemi oluşturulmuştur. Yöntem ile yapılar ve yapı ürünleri özelinde YDD'nin nasıl uygulanması gerektiğine dair genel sistem ifade edilmiştir. ISO 14040'a göre YDD yöntemi dört adımdan oluşmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 YDD yönteminin adımları ve adımları arasındaki ilişkiler (ISO 14040, 2006'dan uyarlanmıştır.)

1. Adım: Amaç ve Kapsam Tanımı

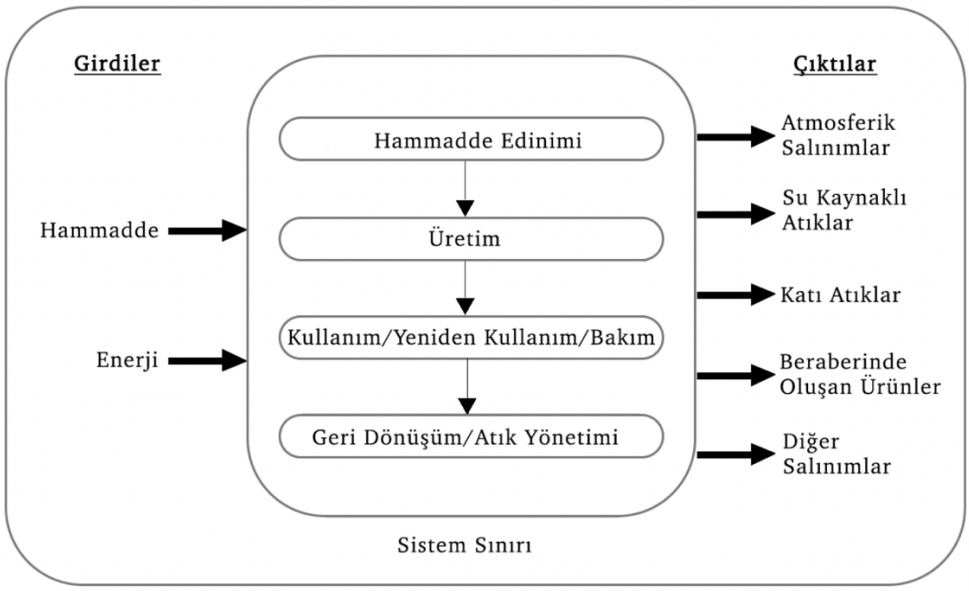
ISO 14040 (2006)'a göre amaç ve kapsam tanımı, YDD sistemini kurmak için tüm genel kararların alındığı adımdır. Bu adımda YDD'si gerçekleştirilecek olan ürün sistemi ve bu ürün ile ilgili YDD çalışması tanımlanırken hedeflenen çalışmanın

konusu, planı, varsayımları ve sınırları mümkün olduğunca açık ifade edilir. Amaç ve kapsam tanımı, YDD çalışmasının neden ve kim için yapıldığına dair cevap vermelidir.

YDD'nin amaçları tanımlanırken çalışmanın yürütülme nedenleri, çalışma ile amaçlanan uygulama ve çalışmanın sonuçlarının iletilmesi için belirlenen hedef kitle gibi konularda kararlar verilir. Ayrıca YDD çalışması ürün geliştirme, stratejik planlama ve pazarlama, ürün seçimi vb. pek çok amaçla kullanılabilir. Bu sebeple YDD ile ilgili amaçların tanımlanması önem kazanmaktadır. Çalışmanın kapsamı ise, amaçlanan hedefi ele almak için yeterli seviyede tanımlanmalıdır. ISO 14040 (2006) standardına göre bir YDD çalışmasının kapsamı tanımlanırken; çalışılacak ürün sistemi, ürün sisteminin işlevleri, fonksiyonel birimler, sistem sınırları, yerleşim prosedürleri, etki kategorileri, etki değerlendirmesi yöntemi ve devamında yapılacak yorumlar, veri gereksinimleri, varsayımlar, sınırlamalar ve çalışma için gerekli raporun türü belirlenmelidir.

YDD çalışmasının amaç ve kapsamı, ISO 14040 kapsamında aşağıda belirtilen alt başlıklar doğrultusunda sistemli bir biçimde tanımlanabilir:

- Fonksiyon, fonksiyonel birim ve referans akışları: Bir sistem, çok sayıda fonksiyona sahip olabilir. Bu fonksiyonlardan YDD'nin amaç ve kapsam tanımına bağlı olarak seçim yapılır. Fonksiyonel Birim, ürünün fonksiyonlarının nicel olarak miktarını belirtir. Amaçlanan fonksiyonun gerçekleştirilebilmesi için gerekli ürün miktarı ve ürünlere ait referans akışlarının belirlenmesi önemlidir.
- Sistem sınırları: YDD çalışmasının sistemine dahil edilecek süreçlerin belirlenmesidir. Sistem sınırı oluşturulurken hammadde edinimi, ürünlerin kullanımı, uygulanması, yok edilmesi gibi farklı yaşam döngüsü süreçleri dikkate alınmalıdır. Örnek bir YDD sistemi kapsamındaki süreç ve sınırları ifade eden şema, Şekil 2.6'da görülmektedir.
- Veri kalitesi gerekleri: YDD çalışması için gereken verilerin özelliklerinin genel bir ifadesidir. Veri kalitesi, çalışmanın sonuçlarını yorumlamak açısından önemlidir (Bayraktar, 2010; Crawford, 2011; Heijungs ve Guinée, 2012; TS EN ISO 14040, 2007).



Şekil 2.6 Örnek YDD sistem sınırı şeması (The U.S. Environmental Protection Agency, 2006'den uyarlanmıştır.)

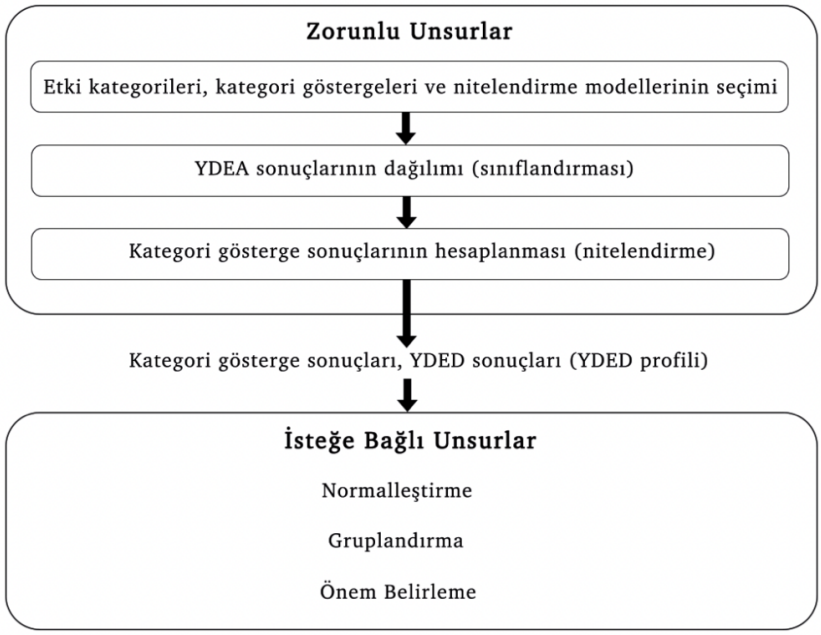
2. Adım: Envanter Analizi

Yaşam döngüsü envanter analizi (YDEA), bir ürün sisteminin, sürecin veya faaliyetin tüm yaşam döngüsü boyunca girdi ve çıktılarını ölçmek için veri toplama ve hesaplamaların prosedürlerini içerir. Girdi verileri Şekil 2.6'da görüldüğü üzere temelde hammaddeler, işlenmemiş ya da geri dönüştürülmüş kaynaklar, su ve enerji olarak değerlendirilirken çıktılar; hava, su ve toprak emisyonları ile diğer atıklardır (Anwar, 2020; Bayraktar, 2010; Crawford, 2011).

ISO 14040'a göre envanter analizi, veri toplama, veri değerlendirmesi ve veri dağıtımı adımlarından oluşur (TS EN ISO 14040, 2007). YDD'nin envanter analizi adımında çalışmanın amacına uygun verilerin toplanması, yoğun ve dikkat gerektiren bir süreçtir. Süreç ilerledikçe çalışmanın hedefi doğrultusunda veri toplama prosedürlerinde değişiklik gerektiren yeni veri gereksinimleri veya sınırlamaları belirlenebilir. Veri toplamadaki olası zorluklar, çalışmanın kapsam adımında göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi takdirde çalışmanın amaç veya kapsamında da yeniden düzenleme gerektiren durumlar oluşabilir (Crawford, 2011); ISO 14040, 2006).

3. Adım: Etki Değerlendirmesi

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED), envanter analizi adımında elde edilen girdi ve çıktı verilerinin, etkilerinin değerlendirilmesi ve tanımlanması için kullanılan niteliksel ve/veya niceliksel yöntemi ifade eden adımdır (Tuna Taygun, 2005). YDED adımında amaç, YDEA adımında elde edilen sonuçlara göre olası çevresel salınımların insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Çalışmanın amacı ve ürünün çevresel etkileri kapsamında iklim değişikliği, asitleşme, ötrifikasyon gibi bir dizi etki kategorisi seçilebilir. Değerlendirmeler yapılırken YDEA verileri katkıda bulundukları etki kategorileri ile ilişkilendirilir ve hesaplamalar bu doğrultuda yapılır (ISO 14040, 2006; Matnagh, 2019). ISO 14040 (2006) standartına göre YDED, zorunlu ve isteğe bağlı unsurlardan oluşmaktadır. Şekil 2.7'de unsurlar ve birbirleri ile olan ilişkileri ifade edilmiştir.

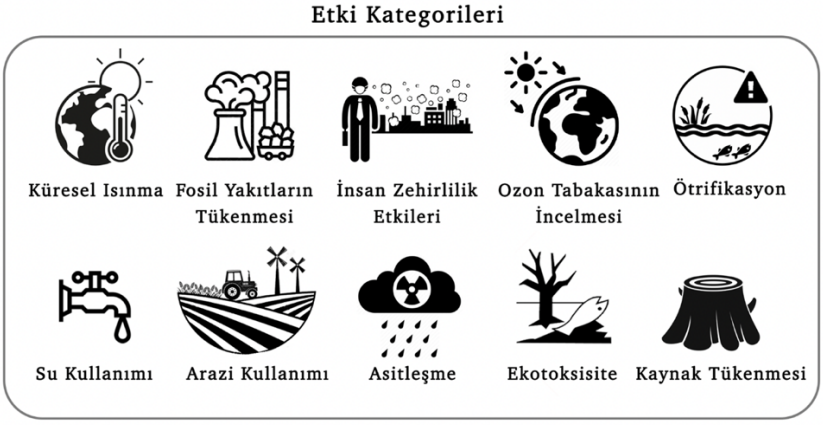


Şekil 2.7 YDED adımının unsurları (ISO 14040, 2006)

Etki değerlendirmesinde zorunlu unsurlar:

Etki Kategorilerinin, Kategori Göstergelerinin ve Nitelendirme Modellerinin Seçimi : YDED'nin ilk adımı, YDEA'da niceliği belirlenmiş çevresel yüklerle ilişkili etki kategorilerini tanımlamaktır. Göz önünde bulundurulan etkilerin seçimi ve ayrıntı düzeyleri, çalışmanın amaç ve kapsam tanımlama adımında belirlenir

(Crawford, 2011; Heijungs ve Guinée, 2012). YDED için kullanılan en yaygın etki kategorilerinden bazıları Şekil 2.8'de listelenmiştir.



Şekil 2.8 YDD'de sıklıkla kullanılan etki kategorileri

Sınıflandırma: YDEA sonuçları, pek çok farklı salımı içerir. Sınıflandırma adımında envanter analizi sonuçları, çevresel etki kategorisine ilişkilendirilir. Envanter sonuçları bir, birden fazla veya ardışık etki kategorilerine sahip olabilir. Örneğin SO_2, insan sağlığı ve asitleşme etki kategorileri arasında ilişkilendirilirken; CFC (Kloroflorokarbonlar) emisyonlarının iklim değişikliğine ve buna bağlı olarak ozon tabakasının incelmesine sebep olması, ardışık etki kategorisine örnek verilebilir (Matnagh, 2019; Özdemir, 2012; The U.S. Environmental Protection Agency, 2006; TS EN ISO 14044, 2007).

Nitelendirme: Nitelendirme adımı, kategori gösterge sonuçlarının hesaplanma sürecini içerir. Etki kategorileri ile ilişkilendirilen YDEA sonuçları, yöntem içerisinde belirlenmiş nitelendirme katsayılar ile çarpılarak ortak birimlere dönüştürülmekte ve her bir etki kategorisi modellenmektedir. Ortak bir birime çevrilen YDEA verileri bu şekilde doğrudan karşılaştırılabilir olmaktadır (Akın, 2018; Matnagh, 2019; Sayın, 2020).

Örneğin küresel ısınma potansiyeline ait kategori göstergeleri, "kg CO_2 eşdeğeri" birimi ile tanımlanmaktadır. Bu doğrultuda küresel ısınma etki kategorisine katkı sağlayan tüm sera gazı salımları ile ilgili YDEA sonuçları, CO_2 karakterizasyon faktörü ile çarpılarak kg CO_2 eşdeğeri cinsinden ifade edilir (Matnagh, 2019; The U.S. Environmental Protection Agency, 2006).

Etki değerlendirmesinde isteğe bağlı unsurlar:

Normalleştirme: Normalleştirme adımı, etki kategorilerine bağlı gelişen kategori gösterge sonuçlarının daha iyi anlaşılıp aralarında karşılaştırılabilmeleri için belirlenen bir referans değere bölünerek aynı birime getirilmesi işlemidir. (Crawford, 2011; Özdemir, 2012; The U.S. Environmental Protection Agency, 2006; TS EN ISO 14044, 2007)

Gruplandırma: Gösterge sonuçlarının yorumlanmasını kolaylaştırmak için etki kategorilerinin sınıflandırılması ve sıralanması adımıdır. Sınıflandırma, girdi ve çıktı verileri (örneğin hava ve su emisyonları gibi) veya küresel, bölgesel, yerel mekansal ölçekler doğrultusunda yapılabilir. Sıralama ise etki kategorilerinin hiyerarşik bir düzen içerisinde yüksek, orta, düşük öncelikli şeklinde derecelendirilmesi ile gerçekleştirilebilir (The U.S. Environmental Protection Agency, 2006; TS EN ISO 14044, 2007).

Ağırlıklandırma: Farklı etki kategorilerinin değer seçimlerine dayalı sayısal faktörler kullanılmasıyla gösterge sonuçlarına dönüştürülmesi adımıdır (TS EN ISO 14044, 2007). Örneğin, su tüketimi ve su rezervlerinin tükenmesi, kaynağın sınırlı olduğu yerlerde endişe sebebiyken, bol miktarda olduğu yerlerde önem arz etmeyebilir. Bu nedenle, aynı gösterge sonuçlarına dayalı olarak her topluluğun farklı bulgulara ulaşmaları oldukça olasıdır (Crawford, 2011).

Veri Kalitesi Analizi: YDEA'nın son adımında elde edilen sonuçların doğrulanması, sonuçlar arasında önemli farklılıklar olup olmadığının belirlenmesi, ihmal edilebilir sonuçların tanımlanması ile ilgili ek tekniklere ve bilgilere gereksinim doğabilir. Bu doğrultuda veri kalitesi araçları kullanılır. Ağırlık, belirsizlik ve hassasiyet analizleri veri kalitesi analizlerinden bazılarıdır.

4. Adım: Yorumlama

Yaşam döngüsü yorumlaması, YDEA ve YDED adımlarından elde edilen verilerin tanımlanması, ölçülmesi, kontrol edilmesi, değerlendirilmesi ve bunların etkili bir biçimde iletilmesi için gerçekleştirilen sistematik bir tekniktir. Yorumlama, YDD sürecinin son adımıdır. Yorumlama işlemi, çalışmanın amaç ve kapsamı

doğrultusunda gerçekleştirilir (The U.S. Environmental Protection Agency, 2006; TS EN ISO 14044, 2007). ISO, yaşam döngüsü yorumlamasının üç ana unsurunu;

- YDEA ve YDED adımları doğrultusunda önemli unsurların tanımlanması,
- Bütünlük, hassasiyet ve tutarlılığın dikkate alınarak sonuçların değerlendirilmesi,
- Değerlendirmeye dayalı sonuçlar, sınırlamalar ve öneriler

şeklinde ifade eder (TS EN ISO 14044, 2007).

Yaşam döngüsü yorumu ile elde edilen değerlendirme sonuçları, açıklayıcı ve kolay anlaşılabilir bir şekilde sunulmalıdır. Sonuç ve öneriler adımı, çalışmanın güvenilirliği ve gerçekleştirilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu sebeple elde edilen bulgular, değerlendirme sonuçlarını yansıtan bir nitelikte olmalıdır (TS EN ISO 14044, 2007; Tuna Taygun, 2005).

2.6 Bölüm Sonu

Bu bölümde gerçekleştirilen literatür araştırması sonucunda, artan çevre sorunlarının büyük oranda yapılar ve yapı ürünlerinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Yapı ürünlerinin hammaddelerinin edinimi, üretimi, kullanımı gibi süreçlerinde farklı çevresel etkiler gösterebileceği, bu bağlamda yapı ürünü seçiminde tek bir süreç yerine tüm süreçleri bütüncül bir şekilde değerlendirmenin önemli olduğu ifade edilebilir. Bu amaç doğrultusunda kullanılabilen YDD yöntemi, ürün seçiminde karar vericilerin faydalanabileceği bilimsel, tutarlı ve yerleşik bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Küresel sorunlara küresel çözümler üretebilmek için araçlar farklılaşsa da ISO gibi uluslararası standartlaşma önemli olmaktadır.

3
YAPIDA ÜRÜN SEÇİMİ

Yapma çevreyi oluşturan yapıların tasarım ve yapımı kavramsal, işlevsel, biçimsel, strüktürel ve eylemsel kararların alındığı pek çok süreç barındırır. Yapı ürünleri, mimari tasarımın tüm bu süreçleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda yapı ürünü seçimi, tasarım sürecinde dikkate alınması gereken bir karar verme eylemidir.

Endüstri Devrimi öncesinde kullanılan ürünlerin sınırlı sayıda olması ve kullanıcı gereksinmelerinin karmaşık olmayışı sebebiyle ürün seçim işlemi kolaylıkla gerçekleştirilmiştir. Endüstri Devrimi ile yeni teknolojiler ortaya çıkmış ve yapı sektörü hızla değişim göstermiştir. Yeni ürünlerin ve üretim tekniklerinin bulunması ile farklı nitelik ve çeşitlilikteki ürünlerin üretilmesini sağlamıştır. Farklılık gösteren kullanıcı gereksinimleri, ürün niteliklerindeki değişim, kentleşme ile gelişen hızlı ve seri üretim talebi ve bu seri üretim sonucunda ürünlerden kaynaklanan çevre kirliliği karşısında yapı ürünü seçimi karmaşık bir hale gelmiştir (Çakmak, 2021; Balanlı, 1997).

Yapı ürünü seçimini kolaylaştırmak adına meslek uzmanları, kurum ve kuruluşlar tarafından çeşitli yöntem ve araçlar geliştirilmiştir. Bunlar, performans yaklaşımına dayalı, maliyete dayalı ve karar yöntemine dayalı yöntemler şeklinde gruplandırılarak irdelenebilir.

3.1 Tasarımda Yapı Ürünü Seçiminin Yeri ve Önemi

Yapıda ürün seçimi, yapıya ait kimlik ile tasarımın ortaya konması ve performans ölçütlerinin sağlanması açılarından önemli bir rol oynamaktadır. Yapı ürünleri aracılığıyla tasarımdan beklenen özellikler sağlanır. Dolayısıyla tasarım ve ürün seçimi birlikte ele alınması gereken süreçlerdir.

Bir yapı projesi için ürün seçim süreci, tasarım sürecinden başlayarak gerekli durumlarda yapım, kullanım, bakım ve onarım süreçleri boyunca devam edebilir. Tasarım sürecinde yapının yer alacağı arsanın sosyal, teknik ve ekonomik açılardan incelemeleri yapılır. Bu doğrultularda yapının üretimi için uygun

olabilecek ürün seçenekleri belirlenir. Ardından ürünlerin yasa ve yönetmelikler, kullanıcı gereksinimleri ve yapı ihtiyaç programı doğrultusunda uygunluğu irdelenir ve maliyetlerin hesaplamaları gerçekleştirilir. Tasarım sürecinde ise gereksinmeler, yapıyı oluşturan ürünlerle karşılanır. Bu süreçte ürün seçenekleri kesinlik kazanır ve bu ürünlerin detayları belirlenerek projelendirilir. Yapım sürecinde ise yapı ürünleri için gerekli ortam düzenlenir ve uygulama gerçekleştirilerek proje tamamlanır. Bu süreçte teknik özellikler, yanlış işçilik veya uygulama kaynaklı nedenlerden tasarım sürecinde seçilen ürünlerin değişimi söz konusu olabilir. Ürün seçimindeki bu değişim, yapı üretim sürecinin tamamını etkiler.

Yapı ürünü seçimi, çok değişkenli bir karar verme işlemidir. Genel olarak çevresel etmenler (kullanıcıya bağlı, doğal ve yapma çevreye bağlı, üretim kaynaklarına bağlı, yasa ve kurumlara bağlı etmenler vb.), gereksinmeler (kullanıcı ve kullanıma bağlı, üretici ve üretim kaynaklarına bağlı gereksinmeler vb.), yapı öğe ve bileşenlerinin işlev ve nitelikleri, zorunluluklar, ölçütler ve seçeneklere bağlı gelişen bir eylemdir (Balanlı, 1997). 21. Yüzyılın küresel sorunlarında sınırlı kaynaklar ve çevre kirliliğinin büyük bir yer edinmesi ile çevresel etmenler bağlamındaki çevreye duyarlılık ve insan sağlığı açısından en az zararlı olan ürünlerin seçimi önem kazanmaktadır.

Yapı ürünü seçimi, çevresel etmenler ve gereksinmelerle birlikte zorunluluklar doğrultusunda şekillenebilir. Zorunluluklar, yapı üretim sisteminin çevresindeki kurumların koyduğu, uyulması gereken kurallardır (Balanlı, 1997). Bu bağlamda karar vericilerin ürün seçim süreçlerinde yapının bulunduğu ülke ve bağlı bulunduğu kurum ve/veya yerel yönetimlere ilişkin yasa, kanun, yönetmelik ve standart gibi zorunlulukları göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Örneğin CE işaretlemesi, ISO 14040, ISO 14044, ISO 21930, EN 15804 ve EN 15978 standartları ürün seçiminde uluslararası anlamda öne çıkan zorunluluklardandır. Türkiye'de ise ürün seçiminde dikkate alınması gereken bir zorunluluk olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2013 yılında Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB) yayımlanmıştır. Yönetmelik, yapı ürünlerinde temel gereklilikler açısından uygulanacak kuralları, performans beyanlarını, CE işaretlemesi, iktisadi işletmelerin yükümlülüklerini, teknik şartnamelere ilişkin

kuralları, teknik değerlendirme kuruluşlarının görevlendirilmesine ilişkin esasları kapsar (Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, 2013).

Ürün seçiminde zorunluluklar dışında karar vericilerin kendi seçimleri doğrultusunda tercih edip faydalanabilecekleri çeşitli tasarım kılavuzları bulunmaktadır. Tasarım kılavuzları, olumlu bir kullanıcı deneyimi sağlamak için tasarım ilkelerinin nasıl uygulanacağına dair öneriler içeren yardımcı belgelerdir. Kılavuzlar yardımıyla tasarımcılar, kullanıcı gereksinimleri doğrultusunda yapı ile ilgili en verimli kararları verebilir. Tasarım kılavuzundaki önerilerin nasıl uygulanacağı, kullanım bağlamlarına ve kullanıcıların onunla sahip olacağı etkileşimin türüne bağlıdır (Kaya Alpan, 2020). Kılavuzlar devlet kurumları, şirket veya üniversite gibi kurum ve kuruluşlar ya da mimar, mühendis gibi şahıslar tarafından geliştirilip uygulanabilir.

Her tasarım kılavuzu, ürün seçimi konusunda kullanıcıya yol gösterici olmaz. Ancak çoğu kılavuz, yapının işlevi veya bağlamından kaynaklanan gereksinimler doğrultusunda ürün seçimi için karar vericilere yardımcı olur. Örneğin Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEBBİK) tarafından geliştirilen B.E.S.T-Konut Sertifika Kılavuzu yapılı çevrede kullanılan malzemelerin geri dönüştürülebilir olmasını, insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki etkilerinin azaltılmasını öngörür. Malzeme seçimlerinin bu öngörü ile yapılmasını önerir. Çevre etiketi olan, yerel, dayanıklı yapı ürünlerinin kullanımını teşvik eder. Ürün seçimini, verdiği öneriler doğrultusunda karar vericilere bırakır (ÇEDBİK, 2019).

3.2 Ürün Seçim Yöntemleri

Tasarımda yapı ürünü seçimi, genel olarak ürün kategorilerinin belirlenmesi, performans ölçütlerinin belirlenmesi (ön değerlendirme), yapı ürünü seçeneklerinin belirlenmesi, teknik bilgi toplanması, ürünlerin değerlendirilmesi ve dokümanlar doğrultusunda seçim işleminin yapılması adımlarından oluşur. Ürün seçim sürecinde doğru kararlara varabilmek için sürece ait kapsam tanımının, karar vericilerin, seçimin yapısının, değişkenlerin ve seçeneklerin, yöntem türünün sonuca uygun olacağının belirlenmesi gerekmektedir (Yılmaz, 2018). Uygun yöntem seçimi ile en uygun sürede ürün seçimi yapılabilir (Balanlı, 1997).

3.2.1 Performans Yaklaşımına Dayalı Yöntemler

Performans kavramı, kullanıcı gereksinmelerini karşılamak üzere bir sistemin veya yapı ürününün istenilen özelliklerini ifade eden işlemler dizinidir. Performans yaklaşımına dayalı seçim süreçlerinde, ürünlerin nasıl davranacağı ve işlevlerini ne şekilde yerine getireceği önemlidir. Literatürdeki performans yaklaşımına dayalı yöntemlerin başlıcaları Japon, Sneck, Cronberg, Black ve Christensen, George, Balanlı, Charles, Ashby, Lohaus ve Steinborn'dur (Arıoğlu, 1993; Balanlı, 1997; Koyaz, 2016). Çalışma kapsamında bu yöntemlerden, ürün seçimi ile ilgili literatürde sıklıkla ele alınan Japon, Sneck, Cronberg, Balanlı, Ashby, Lohaus ve Steinborn yöntemleri incelenmiştir.

Japon Yöntemi

Japon yöntemi, yapı ürünlerinin ürün bilgilerine ve performans gereksinmelerine dayandırılarak seçilmesi ilkesine dayanmaktadır (Koyaz, 2016). Yöntem adımları;

- Yapının yer alacağı alan, birimler, öğeler, bileşenler, parçalar ve gereçlerin belirlenmesi,
- Performans gereksinmelerinin tanımlanması,
- Performans gereksinmelerinin yapı ürünlerinden beklenen niteliklere dönüştürülmesi,
- Ürünlerin uygun bir değerlendirme yöntemi ile değerlendirilmesi,
- Beklenilen özelliklerin sağlanması durumunda ürün seçiminden

oluşmaktadır.

Yöntemde ürün bilgilerinin birim, öğe, bileşen vb. hiyerarşik adımlarla verilmesi, her birine etki eden faktörün tanımlanmasını kolaylaştırılmıştır. Bunun yanında yöntemde yer alan ürün bilgileri, ön ve arka yüzleri kullanılan kartlarda toplanmıştır. Ürün bilgilerinin kartlarda veriliyor oluşu, bilgilerin yetersiz ve karmaşık bir sistemde gelişmesine sebep olmuştur. Bu durum, ürünlerin karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır (Çayak, 2005; Koyaz, 2016).

Sneck Yöntemi

Performans gereksinmeleri doğrultusunda gelişen yapı ürünü özellikleri üzerinden seçim işleminin gerçekleştirildiği bir yöntemdir. Sneck'e göre

performans gereksinmeleri; kullanıcı gereksinmeleri (fizyolojik, psikolojik vb.), fiziksel gereksinmeler (yük ve kuvvetler, su, ısı vb.) ve ekonomik gereksinmeler şeklinde sınıflandırılabilir (Sneck, 1972; akt. Balanlı 1997; akt. Koyaz, 2016).

Sneck ürün seçim yönteminde değerlendirme adımı, sürece dahil edilmemiştir. Seçim süreci karar vericinin bilgi ve birikimi doğrultusunda gerçekleştirilir (Koyaz, 2016).

Cronberg Yöntemi

Kullanıcı gereksinmeleri üzerinden performans gereksinmelerinin belirlenip bu doğrultuda ürün seçimi yapılması ilkesine dayanmaktadır (Cronberg, 1973; akt. Balanlı,1997; akt. Koyaz, 2016). Yöntem adımları;

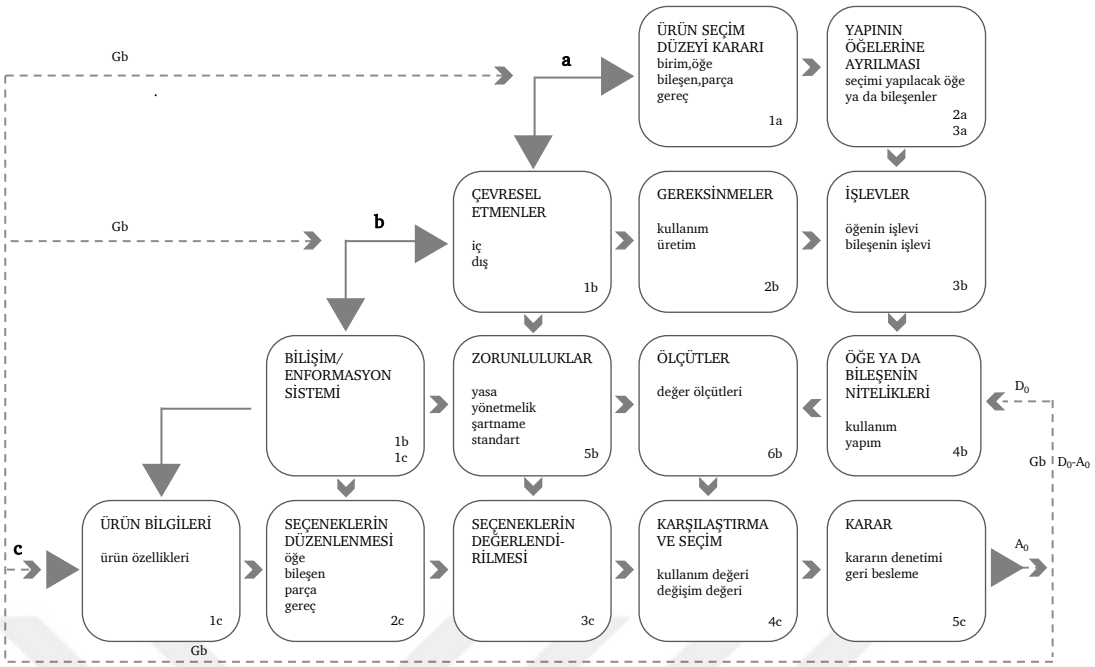
- Kullanıcı gereksinmelerinin belirlenmesi,
- Kullanıcı gereksinmelerinin sınıflandırılması,
- Gereksinmelerini önem düzeylerinin belirlenmesi,
- Yapı ürünlerinin kullanıcı ile ilgili özelliklerinin belirlenmesinden

oluşmaktadır.

Yöntemde net bir değerlendirme ve seçim süreci ifade edilmemiştir. Gereksinmelerin önem düzeyleri doğrultusunda, karar vericinin bilgi ve birikimi ile seçim işlemi yapılabilir (Balanlı, 1997; Koyaz, 2016).

Balanlı Yöntemi

Ürün seçim işlemi, yapı ürünlerinin performansları üzerinden sayısal bir yaklaşımla gerçekleştirilir. Süreç, ürünün düzey kararı ile başlayıp çevresel etmenler, gereksinmeler, ölçütler ve zorunlulukların belirlenmesi ile seçeneklerin değerlendirilmesi sonucunda kararın verilmesini ile sonlanır. Bu yöntemde a, b, c olmak üzere üç ayrı başlangıç adımı bulunmaktadır. İzlenen adımlar sonucunda karara ulaşılır (Şekil 3.1) (Balanlı, 1997). Yöntem, sistematik yapısı ile karar vericiyi sonuca yönlendiren net adımlar içerir. Bunun yanı sıra ürün bilgilerinin elde edilmesi ve karşılaştırılması süreçlerinin uzun zaman alması sebebiyle yöntemi destekleyecek bir veritabanı gerekinimi gözlemlenmektedir.



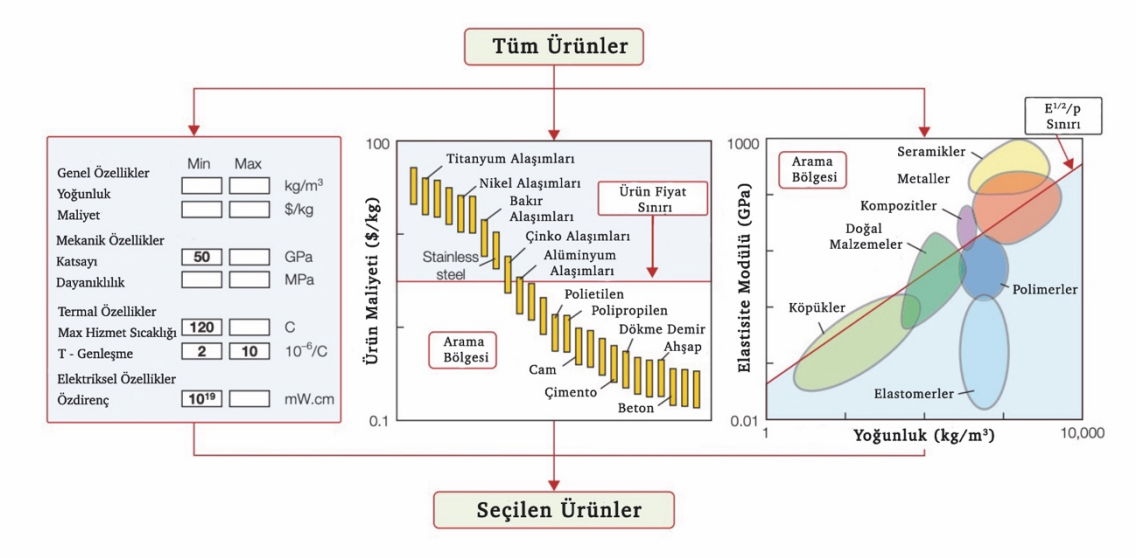
Şekil 3.1 Öğe ya da bileşen düzeyinde ürün seçim yöntemi şeması (Balanlı, 1997)

Ashby Yöntemi

Verilerin tablolarda sunulduğu ve problemin veri modelleme yönlerine odaklanan bir ürün seçim sistemidir (Al-Oqla ve Salit, 2017). Ashby yönteminde kullanılmak üzere Ashby, Granta Design ve Cambridge Üniversitesi çalışanları tarafından Cambridge Engineering Selector (CES) yazılım paketi geliştirilmiştir.

Bu yazılım, tasarım süreci ve ürün seçimi arasındaki paralellik doğrultusunda işlemleri gerçekleştirir (Ramalhete vd., 2010). Yöntem; performans, ekonomik ve estetik açılardan uygun ürünün seçimine yönelik görsel düşünme sürecini içerir. Farklı ürün özellikleri karşılaştırmalı bir biçimde Ashby diyagramları adı verilen görsel tablolar yardımıyla ifade edilir (Şekil 3.2). Ashby yönteminde ürün seçim süreci; tasarım gereksinimlerinin belirlenmesi, eleme, sıralama ve dokümantasyon şeklinde dört adımdan oluşmaktadır (Ashby vd., 2007). Şekil 3.3'te bu sürecin adımları ve birbirleri ile olan ilişkileri görülmektedir.

Ashby yöntemi, farklı tasarım ve gereksinmelere yönelik çeşitli seçim araçları sunmaktadır. Karar vericiler için grafikler yardımıyla seçim sürecini hızlı bir hale getirmektedir. Bununla birlikte yöntem, çoğunlukla mühendislik sektörüne yönelik geliştirildiğinden, yapı ürün seçimi konularında sınırlı kalmaktadır.



Şekil 3.2 CES yazılımı ile gerçekleştirilen ürün seçim işlemi (Ashby, 2011'den uyarlanmıştır.)



Şekil 3.3 Ürün seçim adımları (Ashby vd., 2011'den uyarlanmıştır.)

Lohaus ve Steinborn Yöntemi

Lohaus ve Steinborn tarafından ifade edilen yapı ürünü seçimi, çeşitli faktörler doğrultusunda gerçekleştirilen ardışık bir işlemdir. Yönteme göre ürün seçiminde

klasik gereksinimlere ek olarak performans ölçütlerinden çevresel sürdürülebilirlik düşüncesi de hesaba katılmalıdır. Bu sadece yapı ürünlerinin özellikleri hakkında bilgi sahibi olmayı değil, aynı zamanda üretimden söküm sürecine kadar tüm yaşam döngüsü boyunca çevre üzerindeki etkileri hakkında da bilgi sahibi olmayı gerektirir (Fouad, 2013). Bu doğrultuda yöntemin adımları;

- Yapıya etki eden çevresel koşullarının belirlenmesi,
- Yapının bulunduğu konumdaki yerel yapı ürünlerinin tanımlanması,
- Gereksinimlerin tanımlanmasından

oluşmaktadır.

Yöntemde net bir seçim süreci ifade edilmemektedir. Gereksinimler doğrultusunda sürecin tamamlanabileceği ifade edilmektedir.

3.2.2 Maliyete Dayalı Yöntemler

Ürün seçim süreçlerinde kullanıcı gereksinmeleri doğrultusunda önem verilen ölçütlerden biri ürünlere ait üretim, kullanım ve bakım gibi süreçlerindeki maliyetlerdir. Karar vericiler, istenilen nitelikleri en iyi karşılayan ve en düşük maliyete sahip yapı ürünlerini tercih etmek isteyebilir. Bu doğrultuda maliyet ve ekonomi odaklı ürün seçim yöntemleri geliştirilmiştir. Literatürdeki maliyet yaklaşımına dayalı yöntemlerin bazıları Hillerborg ve Fischmeister-Larsson'dur. Çalışmada literatürde sık yer alması sebebiyle Hillerborg yöntemi örneklenmiştir.

Hillerborg Yöntemi

Hillerborg tarafından "Yapı Ürünleri Üzerine Kurs" isimli çalışmada, gereksinmeler ve maliyetler doğrultusunda bir ürün seçim yöntemi geliştirilmiştir.

Seçim yönteminin adımları;

- Ürün özelliklerinin gereksinmeler doğrultusunda belirlenmesi,
- Belirlenen özelliklerin önem ağırlıklandırmasının yapılması,
- Önem ağırlıkları doğrultusunda kalite değerlerinin bulunması,
- Maliyetlerin hesaplanması,
- Maliyeti en düşük ve kalite değeri en yüksek ürünün seçilmesinden

oluşmaktadır (Balanlı, 1997).

3.2.3 Karar Yöntemine Dayalı Yöntemler

Yapı ürünü seçim süreçlerinde karar, değişik oluşumlar gösteren karmaşık bir işlemdir. Firmalar arası rekabet, karar verici grupların etkinliği gibi konular ile oldukça bağlantılıdır. Karar yöntemleri genel olarak "Yöneylem Araştırması" ve "Sistemler Yaklaşımı" iki başlık altında irdelenebilir (Arıoğlu, 1993).

Yöneylem araştırması, bir sistemin işlenmesine ilişkin en iyi kararların verilmesini sağlayan süreçtir. Sistemlerin denetlenmesini sağlayıp teknik araçlar doğrultusunda en doğru kararlara varmayı amaçlar. Sistemler yaklaşımı ise problemleri bir sistem olarak ifade eder ve bütünden ayrıntıya değerlendirme yapar (Balanlı, 1997). Karar yöntemine dayalı yöntemlere Özkan ve Nilsson-Samuelson yöntemleri örnek verilebilir. Çalışma kapsamında literatürde sıklıkla yer alması sebebiyle Özkan yöntemi örneklenmiştir.

Özkan Yöntemi

Özkan Yöntemi, yapı üretiminin ve ürün seçim süreçlerinin sistemli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için geliştirilmiştir. Yöntem adımları;

- Sorunun düzenlenmesi ve hedeflerin belirlenmesi,
- Modelin kurulması,
- Seçenekler arasından seçimin gerçekleştirilmesi,
- Modelin ve seçeneğin sınanmasından

oluşmaktadır (Balanlı, 1997; Çayak, 2005).

Yapı ürünü seçimi, çok ölçütlü bir karar verme işlemidir. Çeşitli ölçütler doğrultusunda gerçekleştirilen ürün seçiminde belirtilen performans yaklaşımına dayalı, maliyete dayalı ve karar yöntemine dayalı yöntemlerin tümü, gereksinmeler doğrultusunda karar verici/tasarımcı tarafından tercih edilebilir.

3.3 Bölüm Sonu

Yapı ürünü seçimi çok değişkenli bir karar verme işlemidir. Bugün pek çok çevre sorunu gündeme gelmektedir. Dolayısıyla ürün seçiminde çevreye en az zararlı olan ürünlerin seçimi ve bu seçimin pratik bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için sistematik bir yöntemin varlığı önem kazanmaktadır.

Gerçekleştirilen literatür araştırması sonucunda bu çok değişkenli ürün seçim işlemini kolaylaştırmak adına çeşitli kişi ve kurumlar tarafından performans yaklaşımına dayalı, maliyete dayalı ve karar yöntemine dayalı şeklinde sınıflandırılabilen seçim yöntemleri geliştirildiği görülmüştür. Ancak bu yöntemlerin sayıca fazla olmaları, birbirleri ile bazı noktalarda benzerlik gösterdiği kadar da birbirinden farklılaştığı, yalnzca belirli bir yaklaşım doğrultusunda destek sağlamaları, sistematik ve güncel olmamaları gibi sebeplerle kullanıcılar için bilişim çağının gereksinimleri doğrultusunda pratik olmadığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda bilişim çağında küresel çevre sorunlarına çözüm üretmede katkı sağlamak amacı ile çevre dostu yapı ürünü seçimi ve ürünlerin çevresel etkilerini ortaya koymak adına sistematik bir yöntem gereksinimi olduğu ifade edilebilir. İkinci ve üçüncü bölümlerde gerçekleştirilen araştırmalardan elde edilen veriler doğrultusunda YDD'nin çevreci ürün seçiminde kullanıcıların faydalanabileceği bir yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır.

4
YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİNE DAYALI ÜRÜN SEÇİMİ

Yapı ürünleri yaşam döngüsünün her sürecinde farklı çevresel etkilere sebep olabilir. Farklı etkilere sahip yapı ürünlerinin bir arada kullanımı ile yapıların çevresel performansları şekillenir (Tuna Taygun, 2005). Yapının işlevine, biçimine ve çevresel performansına etki eden ürün seçimi, ürünlerin yaşam döngüsünde yer alan tasarımcı, üretici, kullanıcı vb. karar vericileri bir araya getirir. Bu bağlamda ürün seçimi, YDD kapsamında karar vericilerin dikkat etmesi gereken bir süreçtir.

YDD yöntemine dayalı olarak gerçekleştirilen ürün seçimleri ile yapının çevresel yükü, tasarımın erken aşamalarından itibaren değerlendirilmiş olur. Değerlendirmeler ile hedeflenen çevresel performans doğrultusunda ürün seçimi düzenlenebilir (Ding, 2014; Pollini ve Rognoli, 2021).

Bir ürünün yaşam döngüsündeki su, enerji tüketimi, katı, sıvı ve gaz atıklarla ilgili verileri, karar vericilere ürün seçimi konusunda rehberlik edecek bilgiler olabilir ancak çoğu zaman karar vericiler, bu çevresel verilerin değerlendirmelerini pratik ve sistemli bir biçimde yapabilecek seviyede YDD süreçlerinde uzmanlaşmamıştır (Bak-Andersen, 2021). Bununla birlikte erişilemeyen ve/veya yetersiz veriler, karar vericilerin çevresel performans doğrultusunda ürün seçimi yapmalarını zorlaştırmaktadır. Bu doğrultuda YDD'ye dayalı ürün seçiminde karar vericilere yardımcı olabilecek araçların kullanımı önem kazanmaktadır.

YDD'ye dayalı ürün seçiminde kullanılabilecek araçlar; yapı ürünü YDD modelleri, yapı ürünü katalogları, elektronik tablo tabanlı araçlar, genel YDD araçları ve dijital tasarım araçlarıdır. Araçlar, tasarım sürecine entegre edilebilmeleri açısından en karmaşık olan araçtan en pratik olana doğru sıralanarak irdelenmiştir. Bu bağlamda yapı ürünü YDD modellerinden dijital tasarım araçlarına doğru ürün seçiminde karar vericilerin bireysel çalışmaları uygulama anlamında kolaylaşmakta, ürün seçimine harcadıkları süre ve iş gücü azalmaktadır.

4.1 Yapı Ürünü YDD Modelleri ile Ürün Seçimi

Yapı ürünü modelleri ile yaşam döngüsü değerlendirmesi bağlamında ürün seçimi, karar vericilerin kendilerinin farklı ürün bilgilerine erişip bu bilgileri bir model doğrultusunda karşılaştırmaları ve değerlendirmeleri ile seçim işlemini gerçekleştirdikleri süreçtir. Süreçte kullanılan modeller; yönerge ve standartlar, denetim listeleri ve karşılaştırmalı araçlar kullanarak geliştirilebilir.

Yönerge ve standartlar, temel çevre göstergeleri doğrultusunda karar vericilere seçim süreçlerinde aracı olabilir. Denetim listeleri ile belirlenmiş bir dizi soru aracılığıyla eleştirel bir yaklaşım doğrultusunda yaşam döngüsü bağlamında ürün seçimi yapılması sağlanır (Masoudi vd., 2012). Karşılaştırmalı araçlarda ise basit bir hesap tablosu yardımıyla ürünlerin YDD verilerinin karşılaştırmaları gerçekleştirilebilir (Pollini ve Rognoli, 2021).

YDD bağlamında ürün seçimine yönelik literatürde Woolley, Demkin, Anderson, Anink, Gökçe Tuna Taygun, Arzuhan Burcu Gültekin ve Saniye Karaman Öztaş modelleri ortaya konmuştur. Woolley, Anderson ve Gökçe Tuna Taygun modelleri erişilebilir bulunduklarından tez kapsamında incelenmiştir.

4.1.1 Woolley Modeli

Woolley vd. (1997), yapı ürünlerinin kullanım alanlarına göre üretim ve kullanım süreçlerindeki çevresel etkilerinin değerlendirmesini yapmıştır. Modelde enerji kaynakları, yalıtım ürünleri, duvar elemanları, ahşap, ahşap koruyucular, kompozit levha, pencere çerçeveleri, boyalar ve doğrama renklendiricileri, çatı ürünleri, yağmur boruları, tuvaletler ve döşeme kaplamaları değerlendirilmektedir.

Modelde değerlendirme sonuçları, denetim listeleri ile ifade edilmektedir. Denetim listelerinde sayısal veriler yerine görsel ifadeler kullanılmıştır. Modele göre daha büyük noktalar, değerlendirme sonucunda çıkan daha olumsuz çevresel etkileri ifade etmektedir (Tablo 4.1)(Woolley vd., 1997). Ürün seçimi bu değerlendirmeler sonucunda gerçekleştirilebilir.

Tablo 4.1 Boya ve renklendiricilerin çevresel etki analizi (Woolley vd., 1997'den uyarlanmıştır.)

BOYALAR VE DOĞRAMA RENKLENDİRİCİLER	£	ÜRETİM									KULLANIM			
	Birim Maliyet Çarpanı	Enerji Kullanımı	Kaynak Tüketimi (Biyolojik)	Kaynak Tüketimi (Biyolojik Olmayan)	Küresel Isınma	Ozon Tabakasının İncelmesi	Toksikler	Asit Yağmuru	Fotokimyasal Oksidantlar	Diğer	Enerji Kullanımı	Dayanıklılık/Bakım	Geri Dönüşüm/Yok Etme	Sağlık
Sentetik Solvent Bazlı	1,0	●	●				●	●	●	●			●	●
Sentetik Su Bazlı	1,1	●	●				●	●	●	●			●	●
Organik Solvent Bazlı	2,0	●					●		●					●
Organik Su Bazlı	?	●					●							

4.1.2 Anderson Modeli

Anderson ve Howard tarafından 2002'de geliştirilen "The Green Guide to Specification" çalışması, BREEAM Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi'nin temel ölçütlerini içerir. Modelde ürünler, yaşam döngüsü yaklaşımıyla değerlendirilmiş ve çevresel etki düzeyleri A, B, C harfleri ile ifade edilmiştir. A en düşük, C ise en yüksek çevresel etkiye sahip yapı ürünlerini ifade eder (Anderson ve Howard, 2002).

Araç kapsamında döşemeler, dış duvarlar, çatılar, döşeme kaplamaları, pencereler ve giydirme cepheler, bölücü duvarlar, asma tavan ve tavan bitişleri, kapılar, boyalar ve yalıtım ürünleri değerlendirilmektedir (Anderson ve Howard, 2002). Tablo 4.2'de Anderson modeliyle gerçekleştirilen farklı yalıtım ürünlerine ait çevresel etki analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.2 Yalıtım ürünlerinin çevresel etki analizi (Anderson ve Howard, 2002'den uyarlanmıştır.)[1]

YALITIM	Özet Değerlendirme	Küresel Isınma	Fosil Yakıt Tüketimi	Ozon Tabakasının İncelmesi	Atık Yok Edilmesi	Su Çekme	Asit Birikimi	Ekozehirlilik	Ötrofikasyon	Fotokimyasal Sis	Maden Çıkarma	Maliyet £/m²	Tipik Değişim Aralığı	Geri Dönüştürülmüş Girdi	Geri Dönüştürülebilirlik	Şu Anda Geri Dönüştürülmüş	Geri Dönüşümle Tasarruf Ediken Enerji
Taş Yünü Yoğunluk 140 kg/m³	**A**	A	A	A	C	A	A	A	B	C	B	6-7	60	B	C	C	C
Taş Yünü Yoğunluk 160 kg/m³	**A**	A	A	A	C	A	A	A	B	C	B	6-7	60	B	C	C	C
Taş Yünü Yoğunluk 180 kg/m³	**A**	A	A	A	C	A	A	A	B	C	C	7-8	60	B	C	C	C
Taş Yünü Yoğunluk 200 kg/m³	**A**	A	A	A	C	A	A	A	B	C	C	7-8	60	B	C	C	C

[1] A en düşük, C en yüksek çevresel etkileri ifade etmektedir.

4.1.3 Gökçe Tuna Taygun (GTT) Modeli

Gökçe Tuna Taygun 2005 yılında, YDD'ye dayalı yapı ürünü seçimine destek olabilecek bir model geliştirmiştir. Modelde, bilgi formları yardımıyla ürünlerin yaşam döngüsü süreçlerinin, çevreyi etkileyebilecek tüm çıktılarının ve etkilenen çevre gruplarının değerlendirmeleri yapılmaktadır. Belirtilen tüm bu bilgilerin edinilmesi, ilgili formlara işlenmesi ve değerlendirilmesi işleri tasarım sürecinde, ilgili değerlendirici/karar verici ve/veya tasarımcının, değerlendirilen ürün bağlamında bireysel araştırma ve çalışmaları ile gerçekleştirilir.

GTT modeli beş ana adım içermektedir. İlk adım, yapı ürününün tanımlanmasıdır. Bu tanımlama, ürünle ilgili bilgi formunun düzenlenmesi ile gerçekleştirilir. İkinci adım, yaşam döngüsü süreçlerinde yapı ürünü ve çevre etkileşimine yönelik girdi ve çıktı verilerinin belirlenmesidir. Üçüncü adım yapı ürününün yaşam döngüsü süreçlerinde çevre etkilerinin değerlendirilmesidir. Değerlendirme, çıktıların çevre etkilerinin nicelendirilmesi, sınır değerlerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması ile gerçekleştirilir. Dördüncü adım, yapı ürününün yaşam döngüsü süreçlerinde değerlendirme sonucunun tanımlanması ve beşinci adım ise yapı ürününün yaşam döngüsü değerlendirmesinde iletişim adımıdır. İletişim adımında toplumun, tasarımcıların ve üreticilerin, yapı ürünlerinin YDD'sine yönelik bilinçlendirilmesi ve bilgilendirilmesi sağlanır (Tuna Taygun, 2005).

Yapı ürünü YDD modelleri ile YDD bağlamında ürün seçimi; model tipolojilerinin ve yapı ürünlerinin sayıca fazla oluşu, kullanıcıların hangi modeli neye göre tercih etmesi gerektiği ile ilgili net bir bilginin olmayışı, model ve ürünlerin karşılaştırılabilirliğinin zorluğu, uygulamada pratik olmayışı, ürün ve ürünlere ait YDD bilgilerine erişimin zorluğu, karmaşıklığı ve/veya imkansızlığı gibi sebepler doğrultusunda yerini farklı yöntemlere bırakmıştır.

4.2 Yapı Ürünü Katalogları ile Ürün Seçimi

Ürün katalogları, firma faaliyetlerinin etkin olarak yürütülebilmesi için güncel ürün ve hizmetlerin tanıtıldığı öğelerdir (Özbek ve Engür, 2018). Karar vericiler ürün bilgilerine ait katalogları üretici firma ve kurumlardan basılı veya dijital ortamda elde edip bir sistemde düzenleyerek karşılaştırmalar doğrultusunda ürün seçimlerini gerçekleştirebilirler. YDD bağlamında ürün seçiminde karar vericilerin faydalanabileceği kataloglara, EPD'ler örnek olarak verilebilir.

Ürün katalogları basılı veya çevrimiçi şekilde olabilir. Basılı kataloglara üretici firmalar aracılığıyla; çevrimiçi ürün kataloglarına ise web siteler ve elektronik postalar aracılığıyla ulaşılabilir. Çevrimiçi kataloglara, üretici firmalara ait web siteler üzerinden erişilebildiği gibi; çeşitli firmalara ait farklı yapı ürünü bilgilerini barındıran veritabanlarını içeren bağımsız Archdaily, Arkitera-RAF gibi web siteler aracılığıyla da erişim sağlanabilir.

Basılı ürün katalogları; sayıca fazla olmaları, her firmanın kendine ait farklı içerik ve formatta ürün bilgilerini aktarması, farklı ürünlerin karşılaştırılmasının zorluğu ve çevre sorunlarını yönetmek adına kağıt tüketimini artırması gibi sebeplerden YDD'ye dayalı ürün seçiminde zorluk oluşturmaktadır. Çevrimiçi ürün katalogları ise dijital ortamda ürün bilgilerini depolaması ve kağıt tüketimini engellemesi gibi avantajlar sağlarken bu web sitelerin sayıca fazla ve içeriklerinin farklı olması, her ürünün bilgisine erişim sağlayamama ve ürünlerin karşılaştırılabilirliklerinin zorluğu sebebiyle karar vericiler için karmaşaya sebep olabilmektedir.

Çeşitli firmalara ait farklı yapı ürünü bilgilerini barındıran veritabanlarını içeren bağımsız web siteleri ise filtreleme ile karşılaştırma olanağı bulunabilmesi açısından pratiktir, ancak tasarımda seçenekleri oluşturan her ürünün bilgilerinin ilgili veritabanında olmaması nedeniyle de sınırlı kullanıma sahip olabilmektedir.

Genel olarak yapı ürünü katalogları ile YDD'ye dayalı ürün seçimi, ürün bilgilerinin çevresel performanslarını değerlendirmenin ve karşılaştırmanın zorluğu, uygulamalarının pratik olmayışı, iş gücü ve maliyet yüksekliği gibi açılardan yerini daha kapsamlı seçim araçlarına bırakmıştır.

4.3 Elektronik Tablo Tabanlı Araçlar ile Ürün Seçimi

Elektronik tablo tabanlı araçlar, Microsoft Excel gibi tablolama programları aracılığıyla ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesini yapan ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda karar vericilere ürün seçimi ilgili veriler sağlayan dijital araçlardır. Hesaplama işlemleri, ürün miktarlarının ürünlerle ilgili veritabanları veya EPD'lerde bulunan çevresel verilerle çarpılması ile gerçekleştirilir. Sisteme verilerin girişi ve elde edilen sonuçların karşılaştırması karar verici tarafından bireysel olarak yapılır. Bu sebeple elektronik tablo tabanlı araçlar, YDD'ye dayalı ürün seçim süreçlerinde zaman alıcı, hataya açık ve optimizasyon potansiyeli olmayan bir yöntem olarak değerlendirilebilir (Hollberg ve Ruth, 2016).

EPA tarafından geliştirilen TRACI ve Athena Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü (Athena Sustainable Materials Institute-SMI) tarafından geliştirilen EcoCalculator (Şekil 4.1), elektronik tablo tabanlı etki değerlendirme araçlarına örnek olarak verilebilir. Araçlar, kendi veritabanlarındaki çeşitli yapı ürünlerine ait YDD

sonuçlarını içerir. Karar vericiler bu bağlamda araçlar yardımıyla, yapı ürünleri seçebilir ve metraj bilgileri üzerinden YDD sonuçlarını elde edebilir (Athena Sustainable Materials Institute, 2012; The U.S. Environmental Protection Agency, 2022).

Athena EcoCalculator for Commercial Assemblies

TOTAL IMPACTS BY BUILDING COMPONENT	Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	GWP (tonnes CO2eq) TOTAL	Acidification Potential (moles of H+ eq) TOTAL	HH Criteria (kg PM10 eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg O3 eq) TOTAL
COLUMNS & BEAMS	0	0	0	0	0	0	0
WHOLE BUILDING TOTAL	0	0	0	0	0	0	0

B. COLUMNS AND BEAMS (other assembly tabs at bottom of spreadsheet)

IN THE YELLOW CELLS BELOW, ENTER THE AMOUNT OF SQUARE FOOTAGE THAT EACH ASSEMBLY USES IN YOUR BUILDING

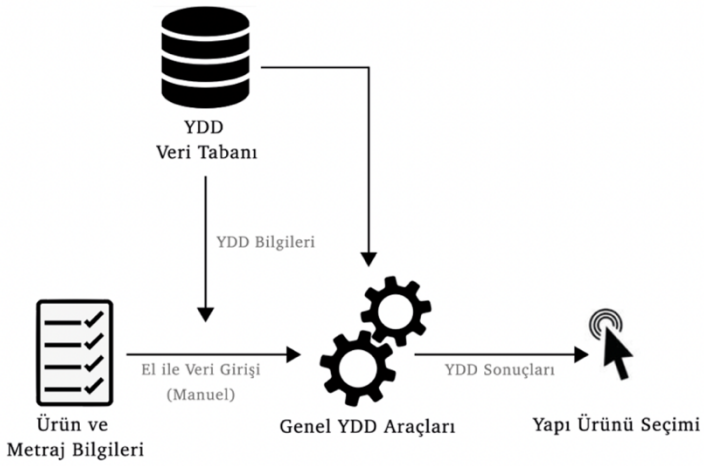
	ASSEMBLY TYPE Column / Beam	Square footage	Percentage of total	Fossil Fuel Consumption per ft² (MJ)	Global Warming Potential per ft² (kg CO2 eq)	Acidification Potential per ft² (moles of H+ eq)	HH Criteria per ft² (g PM10 eq)	Eutrophication Potential per ft² (mg N eq)	Ozone Depletion Potential per ft² (mg CFC-11 eq)	Smog Potential per ft² (g O3 eq)
Average across all column and beam systems:				**42.26**	**2.82**	**0.86**	**7.23**	**2010**	**0.01**	**109.12**
METHOD 1 (ASSUMES NON-LOAD-BEARING EXTERIOR WALL)										
1	Concrete column / Concrete beam	0.0		115.09	9.02	2.55	24.68	5,255.05	0.05	396.78
2	Concrete column / Glulam beam	0.0		57.28	3.94	1.20	13.81	2,602.44	0.01	155.62
3	Concrete column / LVL beam	0.0		56.16	3.86	1.16	10.18	2,643.89	0.01	150.29
4	Concrete column / WF beam	0.0		96.62	5.81	1.85	11.70	5,425.94	0.01	221.59
5	HSS column / Glulam beam	0.0		17.41	1.09	0.37	6.44	476.12	0.00	35.69
6	HSS column / LVL beam	0.0		16.27	1.01	0.33	2.81	517.49	0.00	30.34
7	HSS column / WF beam	0.0		56.64	2.95	1.02	4.33	3,299.20	0.00	101.62
8	Precast Concrete column / Precast Concrete beam	0.0		38.78	3.68	0.94	6.23	1,114.74	0.01	147.67
9	WF column / Glulam beam	0.0		16.10	1.00	0.34	6.31	524.22	0.00	35.63
10	WF column / LVL beam	0.0		14.96	0.92	0.30	2.68	565.59	0.00	30.29
11	WF column / WF beam	0.0		55.33	2.86	0.99	4.20	3,347.30	0.00	101.56
	METHOD 1 TOTAL SQUARE FOOTAGE	0.0								
METHOD 2 (Assumes LOAD-BEARING exterior wall)										
12	Concrete column / Concrete beam	0.0		87.68	6.93	1.95	19.05	3,967.31	0.04	306.08
13	Concrete column / Glulam beam	0.0		40.35	2.77	0.85	10.15	1,796.20	0.01	108.73
14	Concrete column / LVL beam	0.0		39.44	2.70	0.81	7.18	1,830.11	0.01	104.37
15	Concrete column / WF beam	0.0		72.54	4.29	1.38	8.43	4,106.04	0.01	162.72
16	HSS column / Glulam beam	0.0		13.65	0.86	0.29	5.22	372.72	0.00	28.44
17	HSS column / LVL beam	0.0		12.71	0.79	0.26	2.25	406.57	0.00	24.07
18	HSS column / WF beam	0.0		45.74	2.38	0.82	3.49	2,682.22	0.00	82.40
19	Precast Concrete column / Precast Concrete beam	0.0		32.02	3.06	0.78	5.21	901.98	0.01	124.01
20	WF column / Glulam beam	0.0		12.77	0.80	0.27	5.13	404.92	0.00	28.40
21	WF column / LVL beam	0.0		11.83	0.73	0.24	2.16	438.77	0.00	24.03
22	WF column / WF beam	0.0		44.87	2.32	0.80	3.41	2,714.42	0.00	82.36
23	Pre-Engineered Building System	0.0		17.79	1.03	0.27	1.25	831.78	0.00	27.10
	METHOD 2 TOTAL SQUARE FOOTAGE	0.0								

Şekil 4.1 EcoCalculator aracının Excel görünümü (Athena Sustainable Materials Institute, 2012)

4.4 Genel YDD Araçları ile Ürün Seçimi

Genel YDD araçları, ürün ve süreçlerin YDD hesaplamaları için geliştirilmiştir. Araçlar; ürün adı, ürün aile sınıfı, üretici adı, ürün özellikleri, YDD sonuçları gibi kategoriler doğrultusunda karar vericilere ürün seçimi konusunda yardımcı olur.

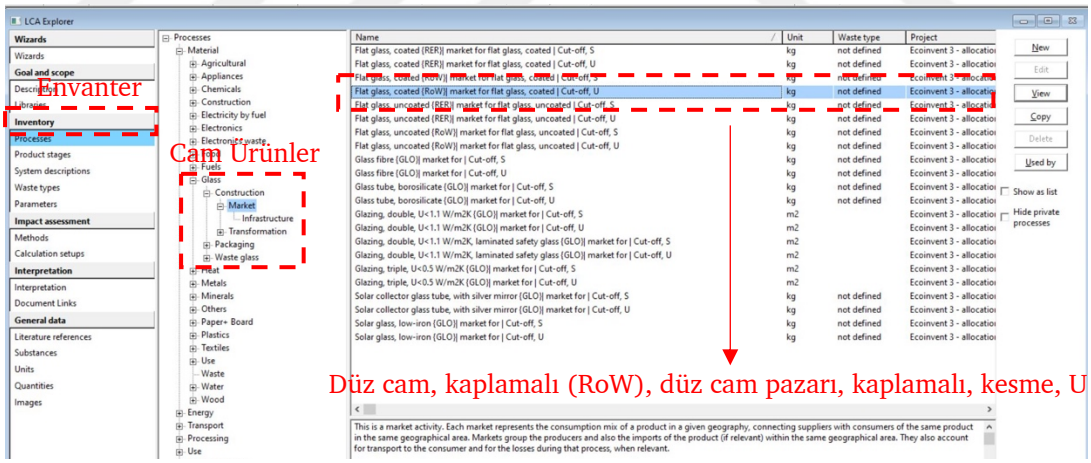
Genel YDD araçları ile ürün seçiminde, ürün ve metraj bilgileri kullanıcının kendisi tarafından yazılıma girilir. Çeşitli veritabanlarından elde edilen YDD bilgileri ise yine kullanıcı tarafından veya otomatik olarak ürün yazılımı üzerinden çekilir. Ardından tüm verilerin değerlendirmesi doğrultusunda elde edilen YDD sonuçları ile karar verici tarafından ürün seçimi yapılır (Şekil 4.2). Ürün seçim sürecinde kullanılabilecek birden fazla yapı ürünü ailesini içeren genel YDD araçlarına SimaPro ve GaBi yazılımları örnek olarak verilebilir.



Şekil 4.2 Genel YDD araçları ile ürün seçim süreci

4.4.1 SimaPro Yazılımı

SimaPro, içerdiği Ecoinvent, U.S. LCI, ELCD gibi veritabanlarındaki ürün bilgileri (Şekl 4.3) ve TRACI 2.1, IMPACT 2002 gibi farklı yöntemler aracılığıyla yapı ürünlerinin YDD hesaplamalarını gerçekleştiren bir yazılımdır. Ayrıca yazılım, hesaplamalar doğrultusunda elde edilen karşılaştırmalı sonuç grafikleri ile karar vericilere ürün seçimi konusunda destek sağlar.

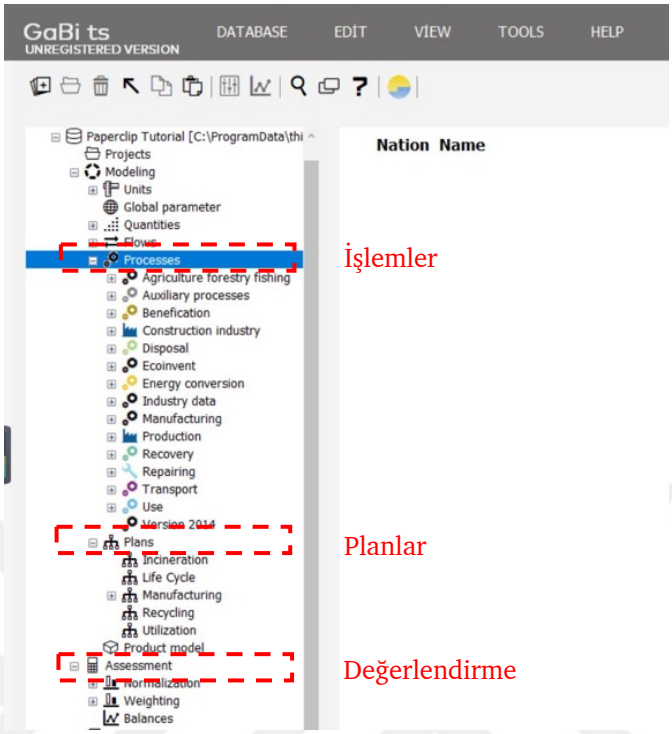


Şekil 4.3 SimaPro veritabanından seçilebilecek örnek cam tipleri

4.4.2 GaBi Yazılımı

GaBi, ISO 14040 standardını esas alan bir modelleme, raporlama ve tanılama yazılımdır. Yapı ürünlerinin çevresel, maliyet ve sosyal profillerini analiz etmek için YDD yöntemini kullanır (The U.S. Environmental Protection Agency, 2006). Programda işlemler, planlar, projeler modüler birimler haline getirilmiştir (Şekil

4.4). GaBi, EcoInvent, U.S. LCI gibi veritabanlarını barındırır ve ürün seçimi için karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilebilmektedir (Sinha vd., 2016).



Şekil 4.4 GaBi demo yazılımı arayüzü

Genel YDD araçları, tasarım ve YDD'ye dayalı ürün seçimi süreçlerinde karar vericilere performans, kalite ve inovasyon gibi avantajlar sağlar. Bununla birlikte incelenen genel YDD araçlarının başlangıç seviyedeki kullanıcılar için karmaşık olduğu, birbirlerinden oldukça farklı özellikler gösterdikleri ve lisanslama maliyetlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu araçların içerdiği bilgilerin karmaşıklığı, sektörde sayıca fazla olmaları, karşılaştırılabilirliklerinin zorluğu ve tasarım süreciyle örtüşmemeleri sebebiyle pratik olmadıkları ifade edilebilir. Dolayısıyla yapı ürünü seçim süreçlerinde karar vericiler için daha az teknik bilgi ve iş gücü gerektiren, pratik, kullanıcı dostu araçların kullanımına gereksinim duyulmaktadır.

4.5 Dijital Tasarım Araçları ile Ürün Seçimi

Geçmişten bu yana geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen tasarım süreçleri, gelişen teknoloji ve bilgisayarlar ile dijital araçlar yardımıyla yapılmaya başlanmıştır.

İlk olarak 1970'li yıllarda gündeme gelen mimarlık pratiğinde dijital araçların kullanımı, 1980'li yıllarda kişisel bilgisayarların yaygınlaşmasıyla birlikte tasarım ortamında yardımcı bir teknik olarak ele alınmaya başlamıştır. Önceleri yalnızca bir çizim aracı olarak kullanılan bilgisayar teknolojilerinin mimarideki rolü giderek belirgin bir önem kazanmış ve bu kapsam artık dijital tasarım olarak ifade edilmeye başlanmıştır (Briscoe, 2006; Turan, 2009).

Dijital tasarım, mimari tasarımların geliştirilmesinde kullanılan bilgisayar tabanlı yeni tasarım ve yöntem modelleridir (Oxman, 2006; Turan, 2009). Dijital tasarımların temsili ve düzenlemeleri için dijital araçlar geliştirilmiştir. Mimarlık pratiğinde genel olarak kullanılan dijital araçlar, veritabanları ve yazılımlardır.

Veritabanı (database), bir veya birden fazla uygulamada kullanılmak üzere sistemli bir biçimde bilgisayar belleğinde depolanan, birbirleriyle ilişkili veriler topluluğudur. Yapı sektöründe çeşitli kuruluşlar tarafından geliştirilen farklı veritabanları bulunmaktadır. Örneğin ürün bilgilerinin depolandığı BIM gibi yazılımlara ait veritabanları, ArchDaily Product Search gibi çevrimiçi ürün veritabanları veya YDD için kullanılabilecek KBOB, Ecoinvent, Ökobaudat ve U.S. LCI gibi veritabanları bulunmaktadır.

Yazılım ise, bir bilgisayar donanımını kullanmak için gerekli programlar topluluğudur. Yazılımlar aracılığıyla bir veya birkaç veritabanının bilgileri yönetilir ve bu bilgilerin türü kullanılan veritabanına bağlıdır. Belirli bir işlemi yapmak üzere bilgisayara kurulurlar. Örneğin tablolama, sunum ve çizim programları birer bilgisayar yazılımıdır. Yazılımların geliştirilmesi sonucu ortaya çıkan ürüne program denir. AutoCAD, Revit, Rhinoceros gibi programlar birer bilgisayar yazılımıdır. Bu bilgisayar yazılımları genellikle tasarım amacıyla kullanılmaları sebebiyle dijital tasarım araçları şeklinde ifade edilir. Dijital tasarım araçları; bilgisayar destekli tasarım tabanlı, yapı bilgi modellemesi tabanlı ve hesaplamalı tasarım tabanlı araçlar olarak üç başlıkta toplanabilir.

4.5.1 Bilgisayar Destekli Tasarım Araçları

Bilgisayar destekli tasarım (computer aided design-CAD) etkileşimli bilgisayar grafik sistemlerinin tasarım ve üretim süreçlerinde farklı fonksiyonları yerine getirmek amacıyla kullanıldığı teknolojidir. CAD teknolojisi, 1970'lerde

karmaşıklaşan projeleri yönetmenin bir yolu olarak ortaya çıkmış ve yazılım firmaları tarafından nitelik ve nicelik anlamında geliştirilerek 2000'lerden itibaren sektörde aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır (Briscoe, 2006; Nalbant, 2020).

CAD, tasarımcılara karmaşık tasarım problemlerin çözümü, tasarım ile ilgili hızlı kararlar verme, zaman ve insan gücü tasarrufu, çalışma verimliliğini artırma, kolay dokümantasyon gibi konularında destek sağlarken grup işbirliği ile iletişim kolaylığını teşvik eder (Chang ve Shih, 2013). En bilinen ve yaygın kullanılan CAD araçlarından biri, Autodesk firmasına ait olan AutoCAD'dir.

4.5.2 Yapı Bilgi Modellemesi Araçları

Yapı bilgi modellemesi (building information modeling-BIM), dijital formatta bilgi alışverişini ve birlikte çalışabilirliği kolaylaştırmak için yapı sürecinin dijital üç boyutlu bir temsilinin kullanıldığı tasarım, inşaat yönetimine yönelik yeni bir yaklaşımdır. Diğer bir ifade ile görselleştirme, mühendislik analizleri, yapım yönetimi, bütçe hesaplama, yaşam döngüsü analizi gibi birçok farklı amaç için bir yapının elektronik modelini oluşturma eylemidir (Eastman vd., 2011; Seyis, 2020).

BIM, Revit programının gelişimi ile birlikte son yıllarda inşaat endüstrisi ve profesyonelleri için büyük önem arz eden bir yaklaşım haline gelmiştir (Bayraktar Sarı, 2018; Soylu, 2020). BIM önceleri yapının ön tasarım, inşaat ve altyapı gibi konularına odaklanırken zamanla bakım, onarım, yenileme, yıkım, geri dönüşüm, yeniden kullanıma kadar yaşam döngüsünün tüm süreçlerini ele alan bir dijital araca dönüşmüştür (Eastman vd., 2011). BIM'in üç temel özelliği bulunmaktadır;

- Sayısal bir veritabanında yapı ile ilgili tüm bilgiler depolanır, program buradaki veriler doğrultusunda çalıştırılır,
- Revizyonlar direkt olarak bu veritabanında yapıldığından projede yapılan değişimler tüm dokümanlara (plan, kesit vb.) otomatik olarak yansır,
- Proje süreci boyunca veritabanında toplanan tüm veriler, daha sonra gereksinim dahilinde tasarımcı, yüklenici veya yapı sahibi tarafından kullanılmak üzere depolanır (Özcan, 2010; Öztürk, 2010).

BIM araçlarının mimari projelerde kullanımı, tasarım ve yapım süreçlerinde proje ve ekiplere;

- Ekipler arasındaki iletişimi ve koordinasyonu güçlendirerek çalışma verimliliğini artırırken projedeki riskleri, hataları ve maliyetini azaltma,
- Bir yapı modellemesi yapılırken ilgili nesnelere ait veriler arka planda her zaman hazır tutulması ile pratik metraj hesabını kolaylaştırma,
- Çakışma saptaması, bilgi yönetimi, detaylandırma, üretim ve uygulama özelliklerine eşzamanlı olarak erişilebilme,
- Yapı yaşam döngüsünü her adımda teknoloji yardımıyla uygulayabilme (Chang ve Shih, 2013; Hamzakadı, 2019; Soylu, 2020)

konularında kolaylık sağlayabilir.

Mimarlık sektöründe Autodesk Revit Architecture, Graphisoft ArchiCAD ve Trimble Sketch Up gibi farklı kuruluşlar tarafından geliştirilen BIM araçları bulunmaktadır. Literatürdeki çeşitli araştırmalardan elde edilen verilere göre yapı sektöründe en sık tercih edilen BIM aracının Autodesk Revit olduğu gözlemlenmiştir (Bellido-Montesinos vd., 2019; Freitas vd., 2020; Kalfa, 2018). Bu doğrultuda çalışma kapsamında bu araçlardan Revit ve Revit'teki ürün seçim süreçleri incelenmiştir.

Autodesk Revit ile Ürün Seçimi

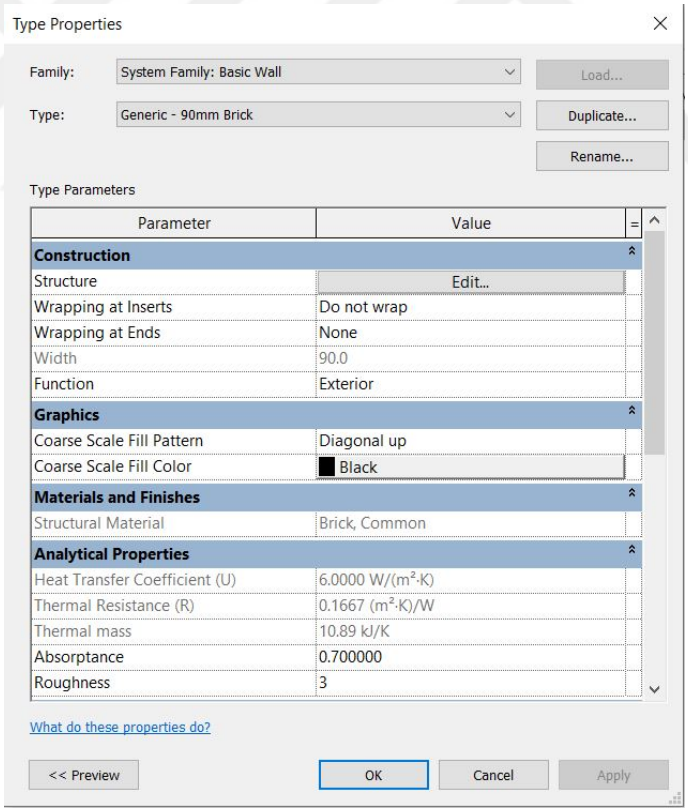
Revit, Autodesk'in geliştirdiği, yapı endüstrisi kullanıcılarının yüksek kaliteli yapılar oluşturmasına yardımcı olan bir BIM yazılımıdır. Mimari tasarım, statik, elektrik, mekanik, proje yönetimi, metraj, görselleştirme, performans analizi gibi konularda bütüncül hizmet vermektedir (Autodesk, 2022).

Revit aracılığıyla oluşturulan yapı modeli, canlı bir sanal modeldir (Utkucu, 2019). Bu yapı modeli, yapıyı tanımlayan tüm bilgilerin depolandığı bir sayısal veritabanı ile çalışır. Revit programı; proje süreçlerini geleneksel yöntemlere göre çok daha hızlı ve detaylı tamamlayabilme, zamandan tasarruf gerçekleştirilirken hata ve maliyetleri en aza düşürebilme (Aydın, 2020), projede kullanılan bileşen ve ürünleri ölçmek ve analiz etmek için çizelgeler ve metraj listeleri oluşturabilme (Hamzakadı, 2019), kendi veritabanı dışında dışarıdan yapı ürünü tanımlayabilme, enerji performans hesaplamaları için enerji optimizasyonu gibi

araçlar barındırma, eToolLCD ve H\B:ERT, Tally, One Click LCA gibi çeşitli entegrasyon araçları ile yapının ve yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesini yapabilme gibi pek çok farklı özelliğe sahiptir.

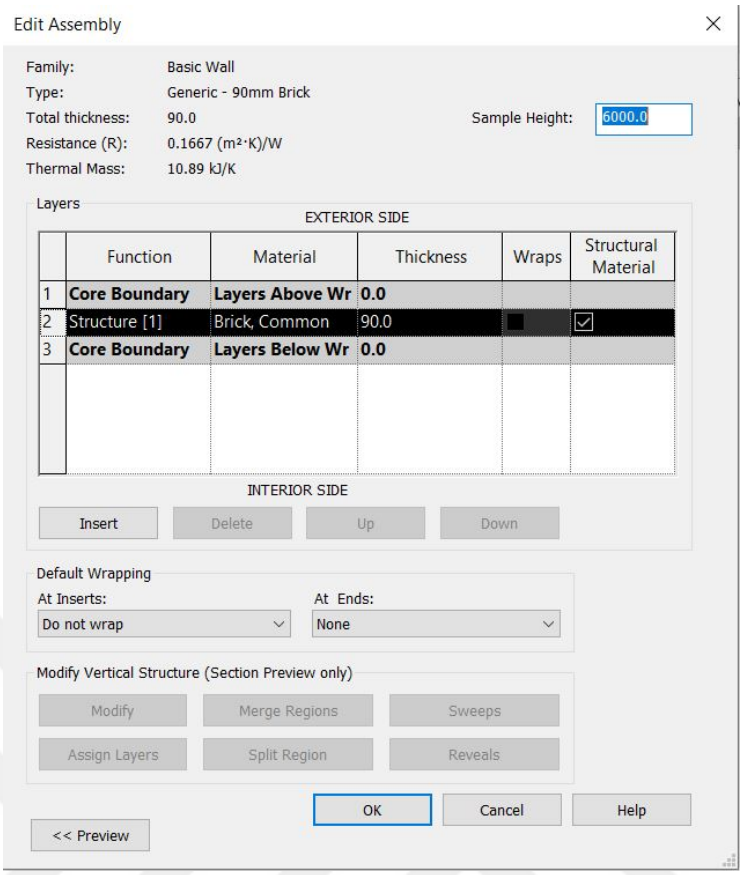
Revit modeli, familya adı verilen, türetilebilen yapı elemanlarının bir derlemesine dayanır. Familyalar, ortak özellikleri olan elemanlardan oluşur. Revit'teki familyalara duvarlar, döşemeler, çatı, merdivenler örnek gösterilebilir. Familyalar, Revit içerisinde 'kullanıma hazır (generic)', projeye özel üretilecek 'yerinde oluşturulmuş (in-place families)' veya yapı ürünü üretici firmaları tarafından hazır üretilmiş şekilde olabilir. Bu objeler ile bağlantı detayları, çevresel veriler vb. her türlü bilgi gömülü olarak tasarımcıya sunulabilmektedir.

Var olan familyaların 'tür özellikleri (type properties-TP)' ekranındaki başlıklar yardımıyla değiştirilebilir. Şekil 4.5'te bir tuğla duvar familyası görülmektedir. Her duvar familyası, strüktür, kaplama, yalıtım, malzeme gibi alt başlıklar içerir.

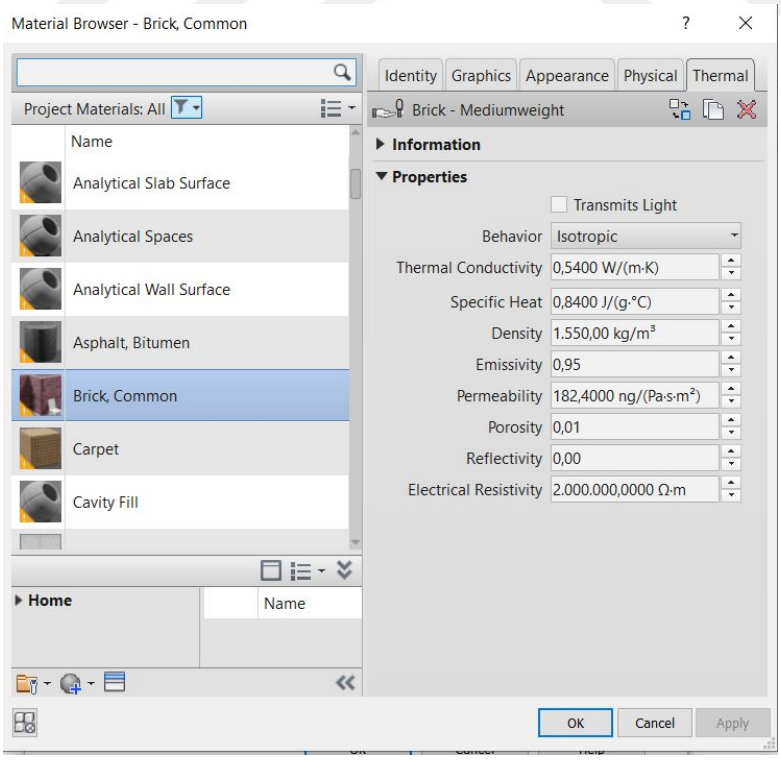


Şekil 4.5 Revit duvar familyası, tuğla duvar örneği

Örneğin Şekil 4.6'da görülen 90 mm'lik tuğla duvar familyasını oluşturan yapı ürünleri ve katmanlaşma, kullanıcı tercihine ve ürün seçimine göre 'malzeme tarayıcısı (material browser-MB)' ekranı ile yeniden düzenlenebilir (Şekil 4.7).



Şekil 4.6 Revit duvar familyası katmanlaşması örneği



Şekil 4.7 Yapı ürünlerinin listelendiği MB ekranı

MB ekranı ile var olan yapı ürünlerinin fiziksel, termal, görsel özellikleri değiştirilebileceği gibi tamamen yeni bir yapı ürününün familyaya tanımlaması da yapılabilir. Genel olarak Revit dijital aracında ürün seçimi incelendiğinde, kullanıcıların kendilerinin ürünleri seçip ardından Revit arayüzünde TP başlığında seçilen ürün bilgilerini yazılıma girmeleri gerekmektedir.

4.5.3 Hesaplamalı Tasarım Araçları

Hesaplamalı veya sayısal tasarım (computational design), algoritmik yöntemler sayesinde belirli adımların tanımlanarak tasarım problemlerinin çözümlenmesi pratiğidir (Terzidis, 2003). Hesaplamalı tasarım süreçlerinde doğrudan bir yapı modellemesi üretmek yerine bir grafik veya komut dosyası geliştirilmektedir. Bu komutlardan oluşan algoritmalar doğrultusunda form üretmeden mimari formun fiziksel performans değerlendirmesinden yaşam döngüsü değerlendirmesi hesaplamalarına kadar geniş çaplı işlemlere olanak sağlanır (Aish, 2013; Çolakoğlu, 2011). Hesaplamalı tasarım araçları ayrıca tasarım süreçlerini otomatikleştirerek ve değişikliklerin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini mümkün kılarak çeşitli işlemsel yetenekler aracılığıyla tasarımcılara yardımcı olur (Caetano vd., 2020).

Mimarlık sektöründe Rhinoceros Grasshopper ve Revit Dynamo gibi farklı kuruluşlar tarafından geliştirilen hesaplamalı tasarım araçları bulunmaktadır (Lim vd., 2019; Wahbeh, 2017). Literatürdeki çeşitli araştırmalardan elde edilen verilere göre yapı sektöründe en sık tercih edilen hesaplamalı tasarım aracının Rhinoceros Grasshopper olduğu gözlemlenmiştir (Bellido-Montesinos vd., 2019; Freitas vd., 2020). Bu doğrultuda çalışma kapsamında Rhinoceros ve Grasshopper araçları ile bu araçlardaki ürün seçim süreçleri incelenmiştir.

Rhinoceros 3D ile Ürün Seçimi

Rhinoceros veya genel olarak bilinen adıyla Rhino, Robert McNeel & Associates tarafından 1998 yılında geliştirilmiş olan bir 3B NURBS modelleme yazılımıdır. NURBS, 3B yüzey veya eğrileri oluşturmak ve temsil etmek için geliştirilen matematiksel modeldir. Başlangıçta gemi tasarımı amacıyla geliştirilen Rhino, yüzey modelleme yetenekleri ile kısa sürede mimarlar ve mühendisler tarafından sıklıkla tercih edilen bir program haline gelmiştir (Briscoe, 2006; Tucker, 2014).

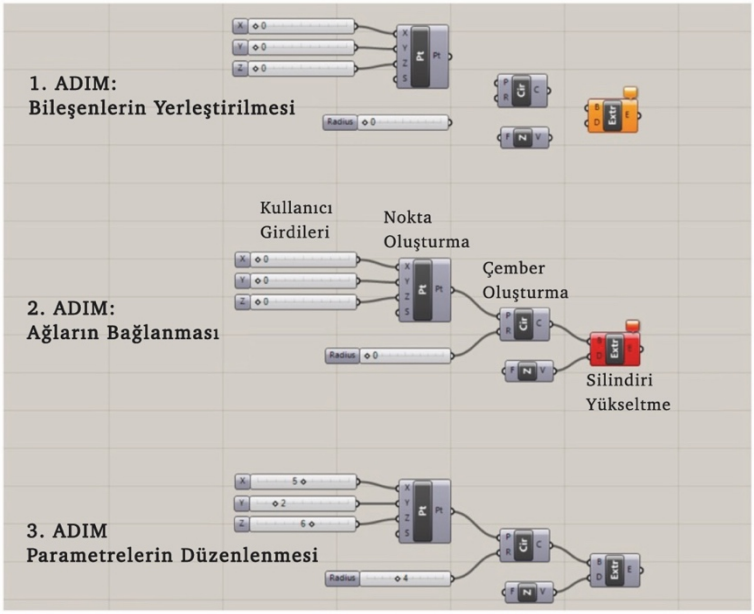
Rhino, basit veya karmaşık biçimli yüzey formları oluşturmak, düzenlemek, görüntülemek, birleştirmek, analiz etmek ve belgelemek için birçok araç sağlar.

Rhino, açık kaynaklı bir yazılım olduğundan gelişime uygun bir programdır. Yazılıma entegre edilen eklentiler ile arazi oluşturma, enerji, yaşam döngüsü değerlendirmesi, parametrik mimari gibi pek çok farklı işlem gerçekleştirilebilir.

Parametrik mimarlık, tasarımcı tarafından belirlenen çeşitli parametreler üzerinden üretilen biçimin tasarım süreci şeklinde ifade edilebilir. Bilgisayar ortamında kurgulanan sistem ile parametrelere girilen farklı değerler sonucunda biçim, mekan önerileri veya simülasyonlar gerçekleştirilir (Turan, 2009; Türkoğlu Sülü, 2018). Mimari tasarım süreci, farklı denemeleri, tekrarı ve yenilemeyi gerektirir. Geleneksel yöntemlerle bu süreç, oldukça karmaşık ve müdahale edilmesi zor bir döngüye girmektedir. Ancak parametrik tasarım araçları, tasarım öğelerinin aynı anda koordine edilmesini mümkün kılmıştır. Parametrik araçların yetenekleri sayesinde en uyguna ulaşana kadar tasarım sürecinin yinelenmesi gerçekleştirilebilir (Öner, 2019). Parametrik mimari araçlarından sektörde sıklıkla kullanılanlardan biri, Rhinoceros'a entegre edilmiş bir grafik algoritma editörü olan Grasshopper'dır (Wahbeh, 2017).

Grasshopper, basit ve karmaşık geometrilerin parametrik olarak kontrol edilmesine izin verir. Kod üretmek için geleneksel programlama yerine, komutları yerine getirmek için temel olarak bileşenleri kullanır (Tucker, 2014). Bileşenler ve onlar arasında bağlantı sağlayan ağlar veri akış diyagramlarının oluşturulmasını sağlar. Bu diyagramların girdiler doğrultusunda çalışması sonucunda üç boyutlu geometriler ya da analiz verileri gibi çıktılar elde edilir. Bileşenlerin manipüle edilmesiyle geometriler de anlık olarak güncellenir. Veri akış diyagramları soldan sağa yazılır ve okunurlar (Şekil 4.8) (Küçükerbaş, 2021; Makris, 2013).

Grasshopper oluşturulmasından bu yana geometri, yapılar, termal performans, gün ışığı performansı, çevresel performans gibi farklı simülasyon eklentileri ile geliştirilen bir yazılım olarak öne çıkmaktadır. Ladybug, Honeybee, Diva gibi eklentiler enerji performansı, termal ve görsel konfor ile gün ışığı ölçümleri; Galapagos, Octopus gibi eklentiler optimizasyon ve Bombyx gibi eklentiler yaşam döngüsü değerlendirmesi amacıyla kullanıma sunulmuştur.



Şekil 4.8 Grasshopper çalışma prensibi örneği (Makris, 2013)

Rhinoceros aracı ile yapı ürünü seçimi, yazılım içerisinde 'malzemeler (materials-MA)' sekmesinde hazır tanımlanmış ürünlerden veya ürün kütüphanelerinden indirilip yazılım içerisine entegre edilen ürünlerden gerçekleştirilebilir. Rhino MA sekmesi ile ürünlerin renk, doku gibi görsel özelliklerini düzenlemek mümkünken bu özellikler dışındaki fiziksel, termal veya çevresel performans verilerini yazılım üzerine tanımlamak mümkün değildir. Rhinoceros programının tek başına gerçekleştiremediği konularda Grasshopper aracı öne çıkmaktadır.

Genel olarak dijital tasarım araçları ile yapı ürün seçimi, Revit'te TP sekmesi ile, Rhino'da kendi arayüzündeki MA sekmesi veya Grasshopper eklentisi ile bu araçların varsayılan özellikleri doğrultusunda gerçekleştirilebilir. Dijital tasarım araçlarının bu bağlamda ürün seçiminde süre, maliyet ve iş gücü açısından avantajlar sağlayacağı, pratik ve sistematik olmaları sayesinde de kullanıcı dostu olarak değerlendirilebileceği ifade edilebilir. Dijital tasarım araçlarında varsayılan özellikler sayesinde ürün seçiminin kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi ve aynı zamanda bu araçlarda YDD'ye dayalı çeşitli eklentiler bulunmasına rağmen dijital tasarım araçları ile YDD bağlamında ürün seçiminin literatürde henüz ele alınmadığı ve irdelenmesinin önemli olabileceği gözlemlenmiştir.

4.6 Bölüm Sonu

YDD'ye dayalı ürün seçimi bağlamında yapı ürünü YDD modelleri, yapı ürünü katalogları, elektronik tablo tabanlı araçlar ve genel YDD araçları incelendiğinde; bu araçların genelinin YDD yöntemi ile ilgili belirli bir bilgi birikimi gerektiği, talep ettikleri iş gücünün fazla olduğu, tasarım süreçleri ile örtüşmediği, çok çeşitli veritabanları ve hesaplama yöntemleri barındırdığı, veri toplama ve maliyet açılarından zorluklar oluşturabilecekleri gözlemlenmiştir. Bugün pek çok araştırmacı, tasarımcı veya karar vericilerin çevresel açıdan en uygun yapı ürününü seçebilmeleri için sistemli, tasarım süreçleri ile örtüşen, kullanımı kolay ve hızlı, günümüz teknolojileri doğrultusunda gelişen güncel araçlara gereksinim duyduklarını ifade etmektedir (Morini vd., 2019; Suppipat vd., 2021). Bu bağlamda güncel tasarım süreçlerinin büyük çoğunluğunun dijital ortamdaki mimari yazılımlar ile gerçekleştirildiği ve Revit, Rhinoceros gibi yazılımların tasarım ile birlikte enerji performansı, termal performans, yaşam döngüsü değerlendirmesi gibi çeşitli konularda analiz ve hesaplama yetenekleri barındırdığı düşünüldüğünde, YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının kullanılabilirliğinin irdelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

5
YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ BAĞLAMINDA ÜRÜN SEÇİMİNDE DİJİTAL TASARIM ARAÇLARININ İRDELENMESİ

Mimari tasarım projelerinin gün geçtikçe karmaşık ve kompleks bir hale gelmesiyle birlikte karar vericilerin yapı ürünlerini seçerken çevresel verileri dikkate almaları giderek daha önemli bir hale gelmektedir. Çevreci ürün seçimindeki bu zorluğun üstesinden gelmek için tez araştırmasında, YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının özellikleri ve etkileri sorgulanmıştır.

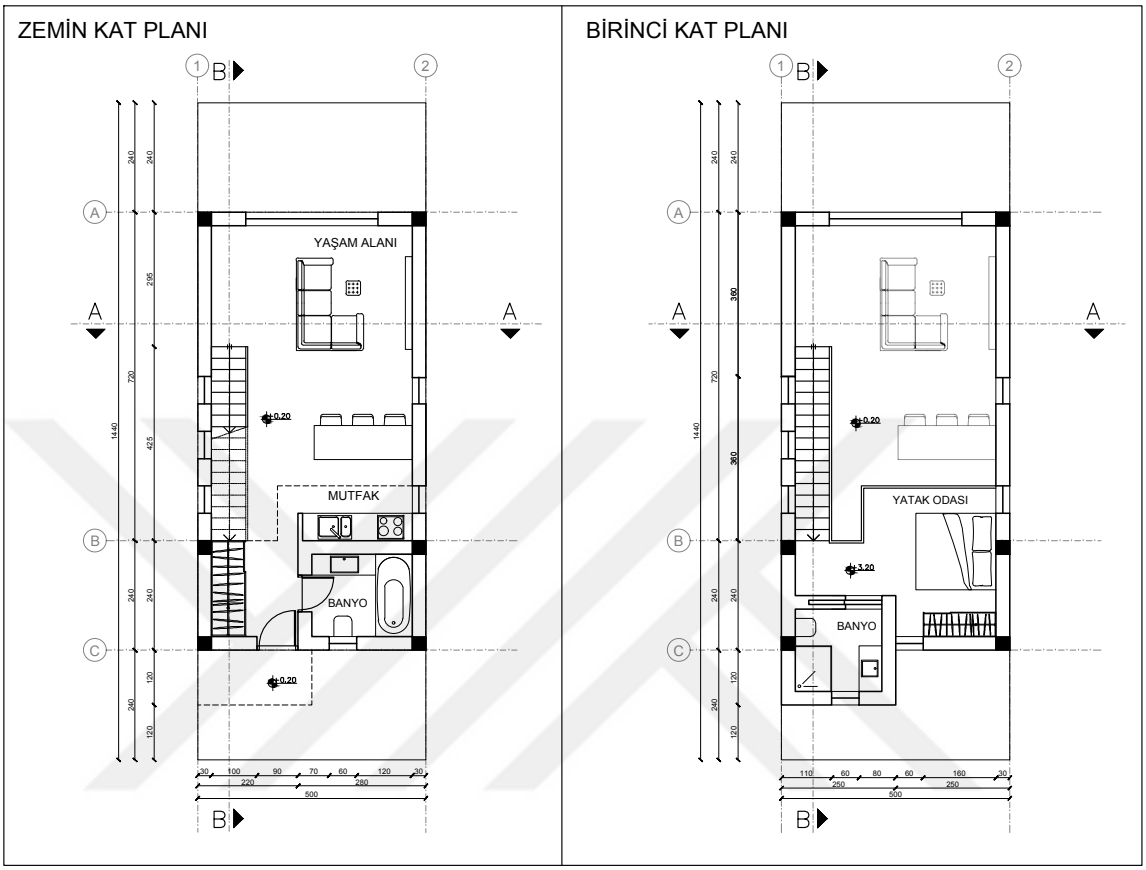
İrdeleme, İstanbul'daki bir konut yapısının betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ilgili konut yapısının YDD bağlamında ürün seçiminde Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital tasarım araçları kullanılmıştır. Hem ayrı ayrı hem de karşılaştırmalı olarak dijital tasarım araçlarının değerlendirmesi ile irdeleme sonuçlanmıştır.

5.1 Dijital Tasarım Araçları ile YDD Bağlamında Ürün Seçiminin İrdelenmesi için Tasarlanan Yapı

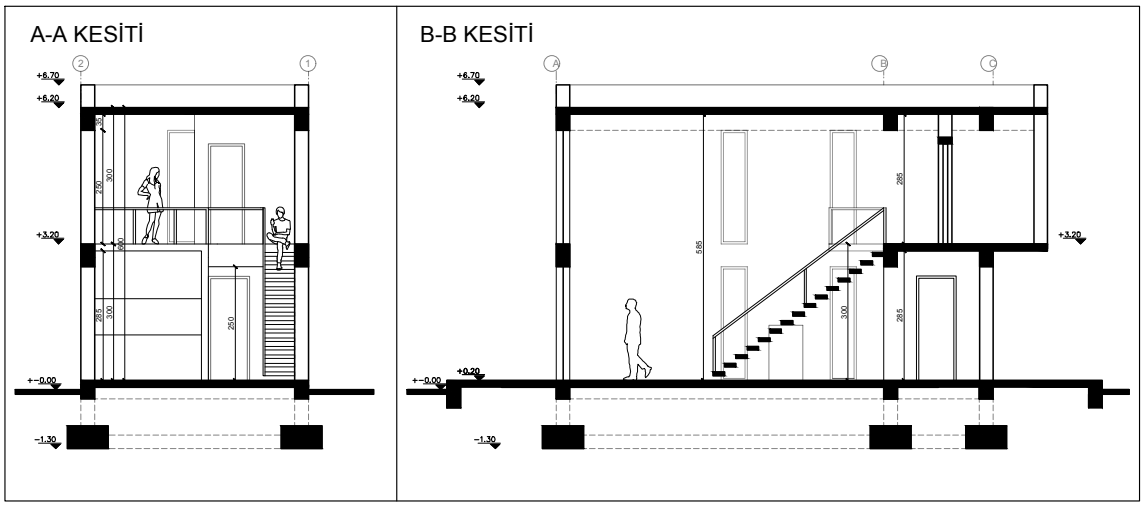
Tez kapsamında iki katlı ve bir konut işlevi ile tasarlanan yapıda, YDD bağlamında ürün seçimi; betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçeneklerinden sistem seçimi ile örneklenerek irdelenmiştir.

İki kişi için İstanbul'da tasarlanan konutun toplam brüt alanı 67 m^2 ve kat yüksekliği 3 metredir. YDD hesaplamaları için yapının kullanım ömrü 60 yıl ve yapı ürünlerinin taşıma mesafesi 40 km olarak kabul edilmiştir. Ayrıca yapıların kullanım sürecindeki YDD adımlarından B6 Enerji Kullanımı ve B7 Su Kullanımı verileri, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) veritabanından elde edilmiştir. TÜİK'e göre İstanbul'da 2020 yılında günlük çekilen kişi başı su miktarı 190 litredir. 2 kişilik bir konut için bu bağlamda yıllık su kullanımı 138,7 m^3 olmaktadır. Aynı şekilde yine İstanbul'daki konutlarda 2019 yılında kişi başına toplam elektrik

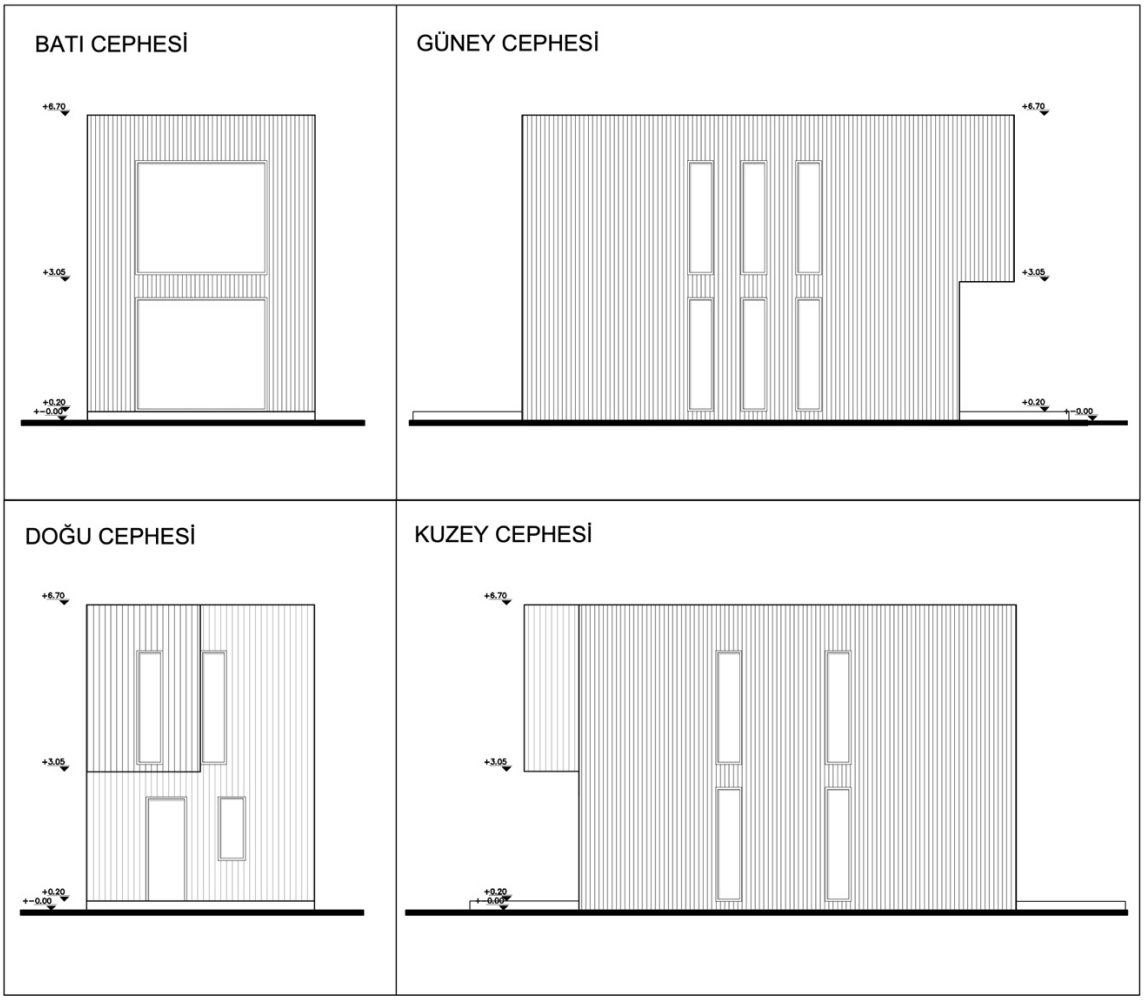
tüketimi 744 kWh'tir. İki kişilik bir konut için bu değer 1488 kWh'tir (TÜİK, 2022). Genel özellikleri ifade edilen örnek konut projesine ait çizimler Şekil 5.1, 5.2, ve 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.1 Örnek yapının zemin ve birinci kat planları



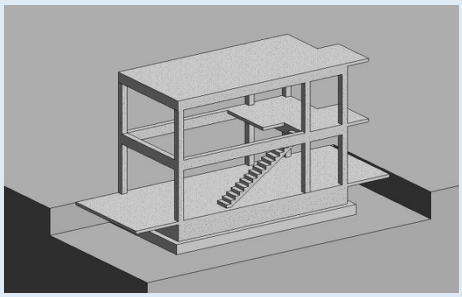
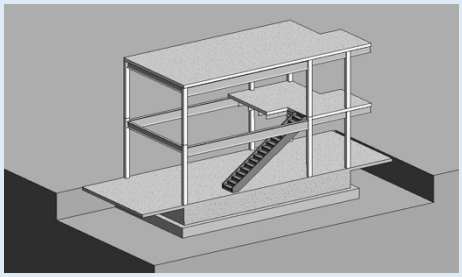
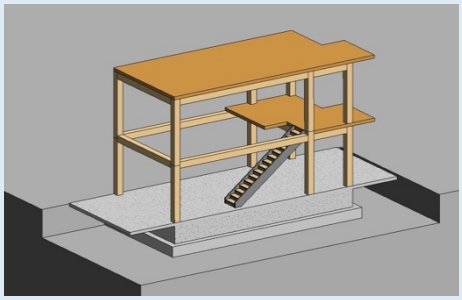
Şekil 5.2 Örnek yapının A-A ve B-B kesitleri



Şekil 5.3 Örnek yapının cepheleri

YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının irdelenmesi amacıyla örnek yapı, betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür ile modellenmiştir. İrdelemelere yalnızca belirtilen strüktürleri oluşturan kolonlar, kirişler, 1. (asma kat döşemesi) ve 2. kat (çatı döşemesi) döşemeleri dahil edilmiş; temel ve zemin kat döşemesi, merdivenler ve diğer yapı elemanları dahil edilmemiştir. Temel ve zemin kat döşemesinin strüktür değişse de değişmeyeceği varsayılmıştır. Üç seçenek üzerinden strüktür seçiminin üç farklı dijital araç ile yapılması nedeni ile irdelemenin daha da karmaşıklaşmaması için merdivenler ve diğer yapı elemanları da hesaplamalarda kapsam dışı bırakılmıştır. Revit programında modellenen strüktürler ve strüktüre ilişkin bilgiler Tablo 5.1'de görülmektedir.

Tablo 5.1 Örnek yapı irdelemeleri için seçilen strüktür tipleri ve bu tiplere ait kolon, kiriş ve döşeme özellikleri

Strüktür Türü	**Kolon Bilgileri**	**Kiriş Bilgileri**	**Döşeme Bilgileri**
Betonarme Strüktür 	300 x 300 mm Betonarme Kolon	200 x 200 x 5 Kare Profil (SHS)	300 x 300 mm Glulam Kolon
Çelik Strüktür 	300 x 500 mm Betonarme Kiriş	IPN 300, IPN 450 IPN 200	300 x 300 mm Glulam Kiriş
Çağdaş Ahşap Strüktür 	150 mm Betonarme Döşeme	150 mm Kompozit Döşeme	150 mm CLT Döşeme

Çelik strüktür seçeneğinin betonarme-çelik kompozit döşeme tipinde, döşemeyi oluşturan katmanlardan çelik trapez levhalara Revit'in program özelliği sebebiyle bir kalınlık ataması yapılamamıştır. Bu sebeple çelik trapez levhalar, irdemelere dahil edilmemiştir.

5.2 YDD Bağlamında Ürün Seçiminde İrdeleme için Seçilen Dijital Tasarım Araçları ve Araçlarla YDD Bağlamında Ürün Seçimi

Çalışma kapsamında irdeleme; Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital araçları ile yapılmıştır.

5.2.1 Tally Dijital Tasarım Aracı

Tally, yapı ürünlerinin ve tasarım seçeneklerinin YDD'sinin yapıldığı bir Revit eklentisidir. Eklenti ile bir Revit modeli üzerinden BIM elemanları ile yapı ürünleri arasındaki ilişkiler tanımlanır (Building Transparency vd., 2022). Tablo 5.2'de Tally aracının yazılımsal (program arayüzü, uyumlu olduğu işletim sistemi vb.), veritabanı, ekonomik (lisans tipleri), YDD hesaplama yöntemi (değerlendirilen yapı ve proje tipleri, etki kategorileri vb.) ile ilgili genel özellikleri görülmektedir.

Tablo 5.2 Tally dijital aracı genel özellikleri

Tally (Öğrenci Sürümü)	
Geliştirici, Ülke	Building Transparency, KT Innovations, KieranTimberlake, thinkstep ve Autodesk, ABD
Versiyon	2022.04.08.01
Web Sitesi	www.choosetally.com
Lisans Tipleri	Ticari ve Eğitim Lisansları
Program Arayüzü	Revit Arayüzü
Uyumlu Olduğu İşletim Sistemi	Windows
Veritabanları	GaBi'ye dayanan özel veritabanı
Veritabanı Konumları	Kuzey Amerika
Yöntem	TRACI
Kabul Edilen Standartlar	EN 15978, EN 15804, ISO 14040, ISO 14044, ISO 21930-2017, ISO 21931-2010
Sertifika Sistemleri ile Uyum	LEED
Değerlendirilen Yapı Tipleri	Değerlendirilen yapı tipleri için özel seçenekler bulunmamaktadır. Tüm yapı tipleri değerlendirilebilir.
Değerlendirilen Proje Tipleri	Değerlendirilen proje tipleri için özel seçenekler bulunmamaktadır. Tüm proje tipleri değerlendirilebilir.
Projenin Değerlendirme Süreçleri	Projenin değerlendirme süreçleri için özel seçenekler bulunmamaktadır. Projenin tüm süreçleri değerlendirilir.

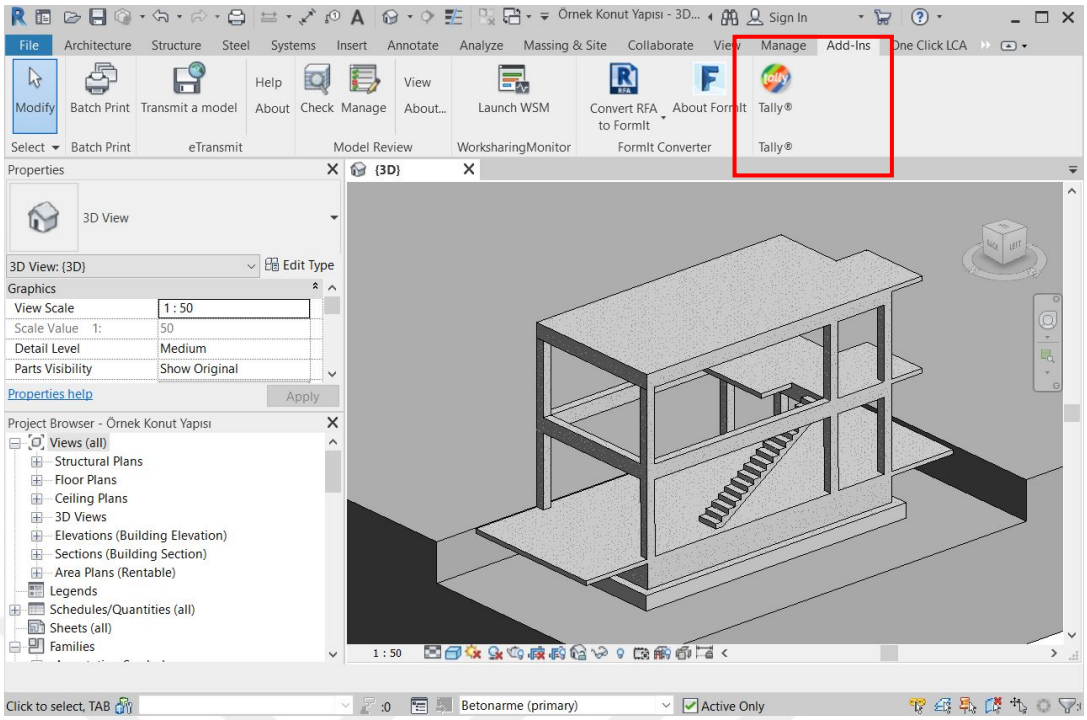
Tablo 5.2 Tally dijital aracı genel özellikleri (devamı)

Tally (Öğrenci Sürümü)	
Çalışma Kapsamı Seçenekleri	Tek Bir Yapının Değerlendirmesi, Birden Fazla Yapının Karşılaştırması, Familyaların Düzenlenmesi
Taşıyıcı Tipleri	Taşıyıcı tipleri için özel seçenekler bulunmamaktadır. Tüm taşıyıcı tipleri değerlendirilebilir.
Değerlendirilen Yapı Elemanları	Temeller, Kolonlar, Kirişler, Döşemeler, Duvarlar, Kapılar, Pencereler, Tavanlar, Çatılar, Merdiven ve Korkuluklar, Giydirme Cepheler
Değerlendirilen YDD Süreçleri	A1-A3, A4, A5 (opsiyonel), B2-B5, B6 (opsiyonel), C2-C4, Modül D (YDD kapsamı dışındaki etkiler)
Etki Kategorileri	- Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) - Asitleşme Potansiyeli (AP) - Ötrofikasyon Potansiyeli (EP) - Ozon Tabakasının İncelme Potansiyeli (ODP) - Fotokimyasal Sis Oluşum Potansiyeli (POCP) - Biyojenik Karbon Depolama - Birincil Enerji Talebi (PED) - Yenilenebilir Enerji Talebi - Yenilenemeyen Enerji Talebi
Ulaşım Verileri	Düzenlenebilir
Enerji Tüketim Verileri	Ticari Lisansta Düzenlenebilir
Su Tüketim Verileri	Ticari Lisansta Düzenlenebilir
Yapı Ömrü	İstenilen süre girilebilmektedir.

5.2.1.1 Tally'nin Kullanımı ve Yapı Ürünü Seçimi

Tally genel olarak, Revit modelini oluşturan familyaların, yapı ürünlerinin ve metrajlarının otomatik olarak aracın kendi arayüzüne aktarımı, aktarılan ürünlerin Tally veritabanından seçilen ürünlerle eşleştirilmesi ve bu doğrultuda YDD hesaplamalarının yapılıp ürünlere ait YDD sonuçlarının elde edilmesi üzerine şekillenmektedir.

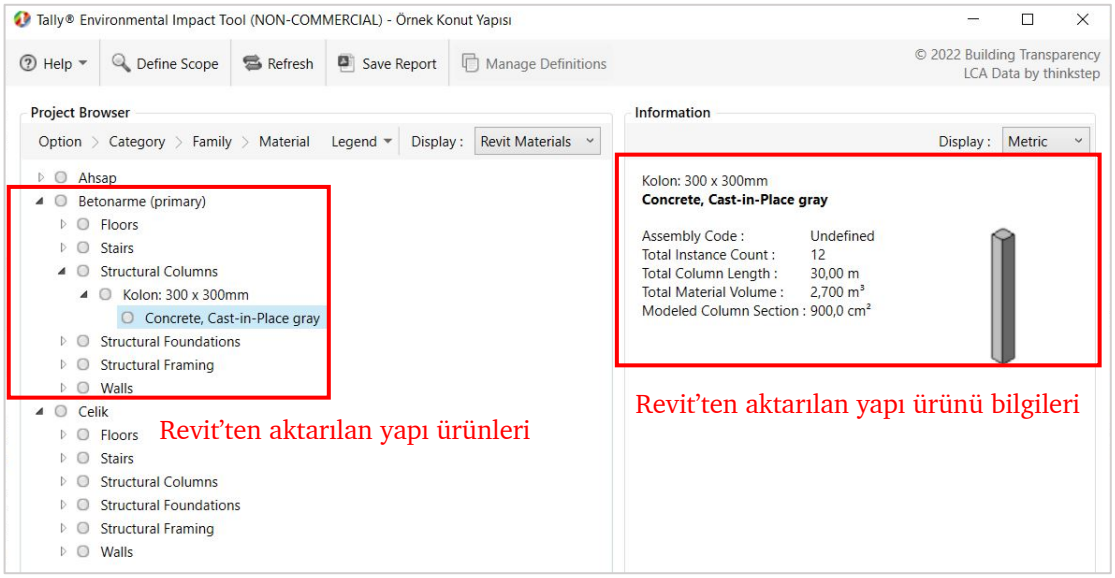
Tally'nin kullanımı için araç, web sitesinden indirilip Revit eklentilerine yüklenir. Tez çalışmasında, eklentinin kısmi erişimli olan eğitim sürümü kullanılmıştır. Tally'nin kullanımında öncelikle YDD'si gerçekleştirilecek olan yapı veya yapı ürünleri Revit familyaları ile modellenir. Modellemenin tamamlanmasından sonra Revit üst çubuk menüsündeki 'eklentiler (add-ins)' sekmesinden Tally butonuna tıklanarak araç çalıştırılır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Revit çubuk menüsü ve eklentiler sekmesi altındaki Tally aracı

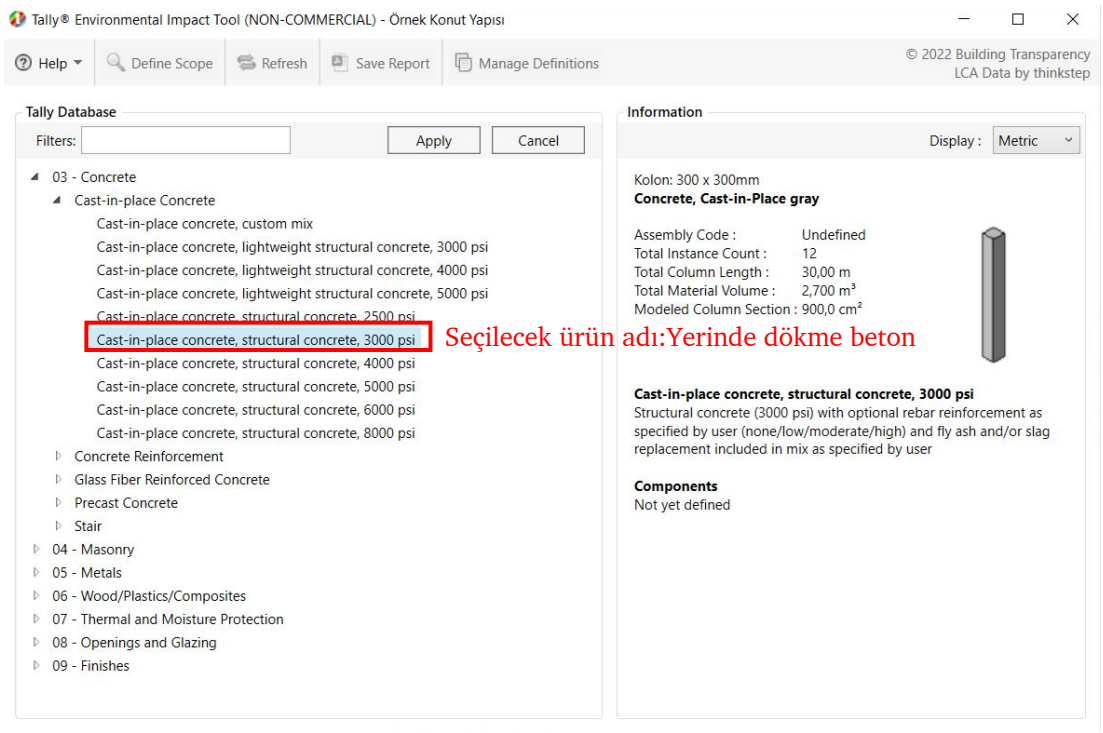
Araç başlatıldıktan sonra ilk olarak 'çalışma kapsamının tanımlanması (define scope)' gerçekleştirilir. Araçta tek bir yapının değerlendirmesi, birden fazla yapının karşılaştırması ve familyaların düzenlenmesi seçenekleri bulunmaktadır. Tez kapsamında üç farklı strüktür irdelendiğinden birden fazla yapının karşılaştırması tercih edilmiştir. Dijital aracın bu kapsamda değerlendirmeleri gerçekleştirebilmesi için tüm tasarımların tek Revit dosyası içerisinde yer alması gerekmektedir. Bu sebeple betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri Revit'in tasarım seçenekleri özelliği altında tek bir dosyada modellenmiştir.

Kapsam seçiminin ardından Tally aracı, strüktür modellerindeki familyalara ait metraj ve ürün bilgilerini otomatik olarak kendi arayüzüne aktarır. Ürünlerin Tally arayüzüne aktarımı, Revit'te görünen isimleriyle gerçekleşir. Örneğin konut yapısının betonarme strüktür seçeneğinin 300x300 mm'lik kolonları, Revit modelinde 'yerinde dökme beton (concrete, cast-in-Place gray)' ürünüyle tanımlanmıştır. Tanımlanan bu yapı ürünü Tally aracına aktarılınca da yine yerinde dökme beton şeklinde görülecektir (Şekil 5.5) fakat aktarılan ürün isminin aynı olması Tally veritabanından ürün seçildiğini göstermez. Revit'ten aktarılan ürün ismi sadece bir yol gösterici olup karar vericilerin kendilerinin Tally veritabanından, aktarılan ürün tipine uygun ürün seçmeleri gerekmektedir.



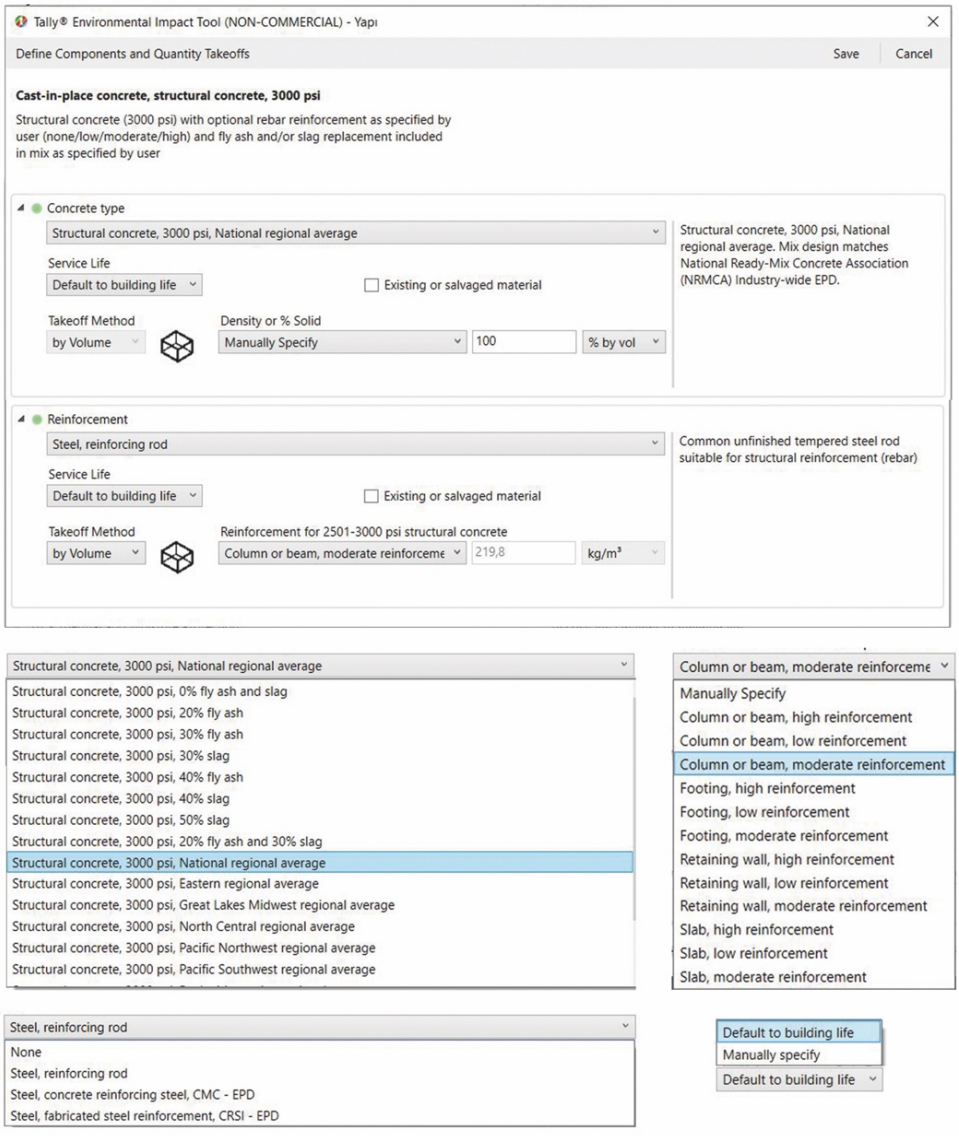
Şekil 5.5 Revit modelinden Tally'e aktarılan betonarme strüktür seçeneğine ait kolonlar ve ilgili metraj bilgisi ekranı

Tally aracı ile YDD hesaplamaları, Revit modelinden elde edilen yapı ürünlerinin Tally veritabanındaki ürünlerle eşleştirilmesi doğrultusunda gerçekleştirilir. Örneğin betonarme 300x300 mm'lik kolonlar için beton kategorisinden proje verileri dahilinde ortalama değerde yerinde dökme beton (Cast-in-place concrete, structural concrete, 3000 psi) ürününün seçilmesine karar verilmiştir (Şekil 5.6).



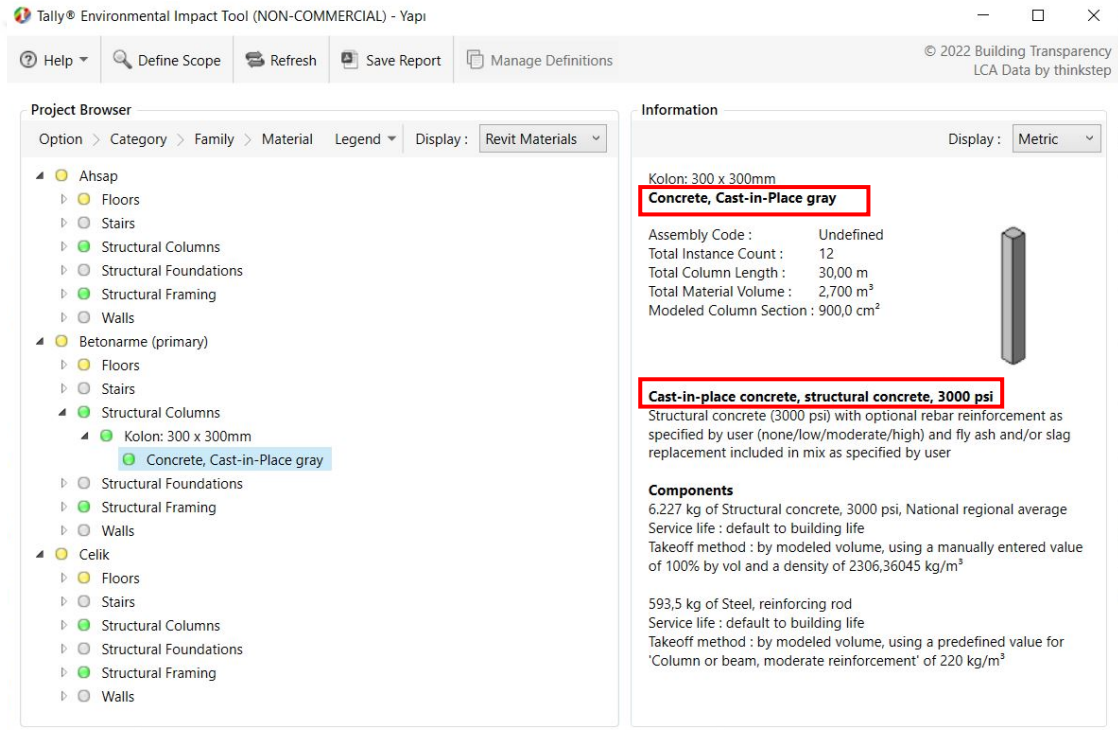
Şekil 5.6 300x300 mm'lik kolonlar için seçilebilecek yapı ürünü seçenekleri

Ürün seçimi sonrasında açılan ekranda, seçilen ürünün detaylı verilerinin dijital araca tanımlanması gerekmektedir. Örneğin beton kolonlar beton tipi ve donatı özellikleriyle ilgili verilerin araca işlenmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında beton tipi için 'ulusal bölgesel ortalama değer (national regional average)', donatılar için ise 'kolon ve kirişler için ortalama değer olan (column or beam, moderate reinforcement)' 219,8 kg/m^3 kabul edilmiştir. Aynı şekilde betonarme döşemelerin donatı hesapları için de Tally dijital aracındaki ortalama değer olan 87,24 kg/m^3 çalışma kapsamında kullanılmıştır. Belirtilen kolon, kiriş ve döşeme donatı değerleri tez kapsamında irdelenen One Click LCA ve Bombyx'de de aynı şekilde kabul edilmiştir. Şekil 5.7'de betonarme stüktür seçeneği için Tally aracındaki detaylı ürün veri düzenleme ekranı görülmektedir.



Şekil 5.7 Betonarme strüktür için örnek ürün veri düzenleme ekranı

Tally ile gerçekleştirilen ürün seçimlerinde dijital araç, karar vericilere seçilebilecek yapı ürünlerinden oluşan bir veritabanı sunar fakat otomatik ürün eşleştirmesi veya yönlendirmesi yapmaz. Ürün seçimini tamamen karar vericilere bırakır. Şekil 5.8'de Tally dijital aracında seçilen bir yapı ürününe ait bilgileri ifade eden ön gösterim ekranı görülmektedir. Ekranda ilgili yapı elemanını oluşturan ürünün hem Revit modelinden Tally'e otomatik aktarılan ismi (concrete, cast-in-place gray) hem de Tally veritabanından seçilen ürüne ait ismi (Cast-in-place concrete, structural concrete, 3000 psi) görülmektedir. Bu sayede Revit modelinden elde edilen yapı elemanının hangi ürünle eşleştirildiği kolaylıkla anlaşılabilmektedir.



Şekil 5.8 Tally Revit eklentisi, seçilen ürün için genel ön gösterim ekranı

Çalışma kapsamında belirtilen yöntemle Tally aracında üç strüktür seçeneği için ürün seçimleri gerçekleştirilmiştir. Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür için seçilen ürünlere ait bilgiler sırasıyla Tablo 5.3'te görülmektedir.

Tablo 5.3 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için Tally'den seçilen yapı ürünleri

Tip	Ürün Kaynağı	Miktar	Açıklama
BETONARME STRÜKTÜR	Cast-in-place concrete, structural concrete, 3000 psi, national regional average	2,7 m^3	Kolonlar-hazır beton karışımı
	Steel reinforcing rod	593,46 kg	Kolonlar-çelik donatı
	Cast-in-place concrete, structural concrete, 3000 psi, national regional average	7,6 m^3	Kirişler-hazır beton karışımı
	Steel reinforcing rod	1670,48 kg	Kirişler-çelik donatı
	Cast-in-place concrete, structural concrete, 3000 psi, national regional average	69,9 m^2	Döşemeler-hazır beton karışımı
	Steel reinforcing rod	914,8 kg	Döşemeler-çelik donatı
ÇELİK STRÜKTÜR	Steel, HSS Section, construction steel, light structural shapes	0,133 m^3	Kolonlar-SHS profil
	Steel, IPN Section, hot rolled structural steel	0,411 m^3	Kirişler-IPN profil
	Steel, IPN Section, hot rolled structural steel	0,279 m^3	Kirişler-IPN profil
	Steel, IPN Section, hot rolled structural steel	0,219 m^3	Kirişler-IPN profil
	Cast-in-place concrete, structural concrete, 3000 psi, national regional average	69,9 m^2	Döşemeler-hazır beton karışımı
	Steel reinforcing rod	914,8 kg	Döşemeler-çelik donatı
ÇAĞDAŞ AHŞAP STRÜKTÜR	Glue laminated timber (Glulam)	3,12 m^3	Kolonlar-glulam
	Glue laminated timber (Glulam)	5,54 m^3	Kirişler-glulam
	Cross laminated timber (CLT)	69,81 m^2	Döşemeler-clt (çapraz lamine ahşap)

5.2.1.2 Tally ile Elde Edilen Sonuç Verileri

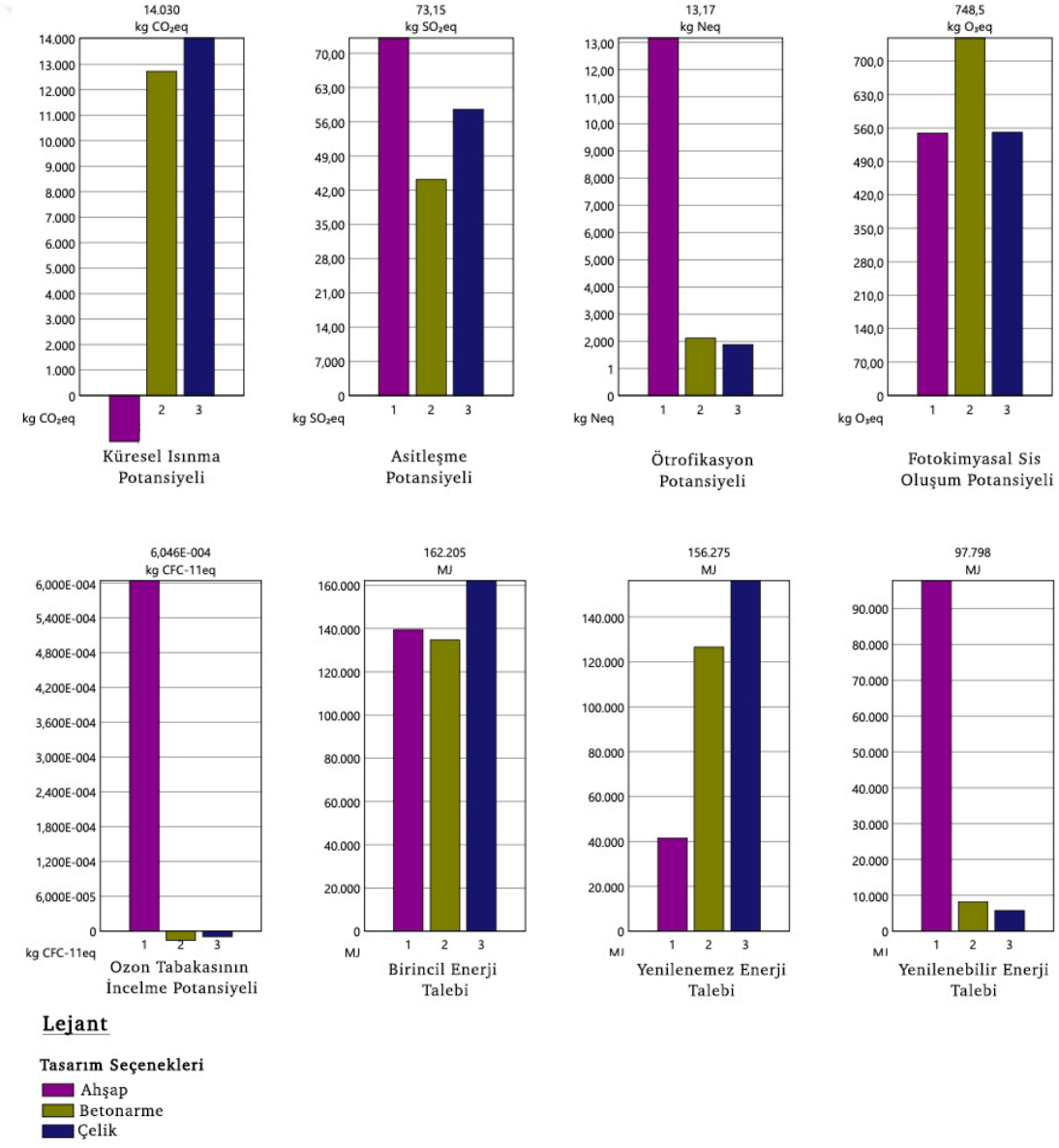
Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürler için seçilen yapı ürünleri ve girilen diğer verilerle birlikte Tally dijital aracında YDD sonuçlarına ulaşılmıştır. Sonuç ile seçilen yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçlerindeki küresel ısınma potansiyeli, asitleşme potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, ozon tabakasının incelme potansiyeli, fotokimyasal sis oluşum potansiyeli, biyojenik karbon

depolama, birincil enerji talebi, yenilenebilir enerji talebi, yenilenemez enerji talebi değerleri elde edilmiştir. Tablo 5.4'te betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçeneklerinin YDD sonuçları görülmektedir.

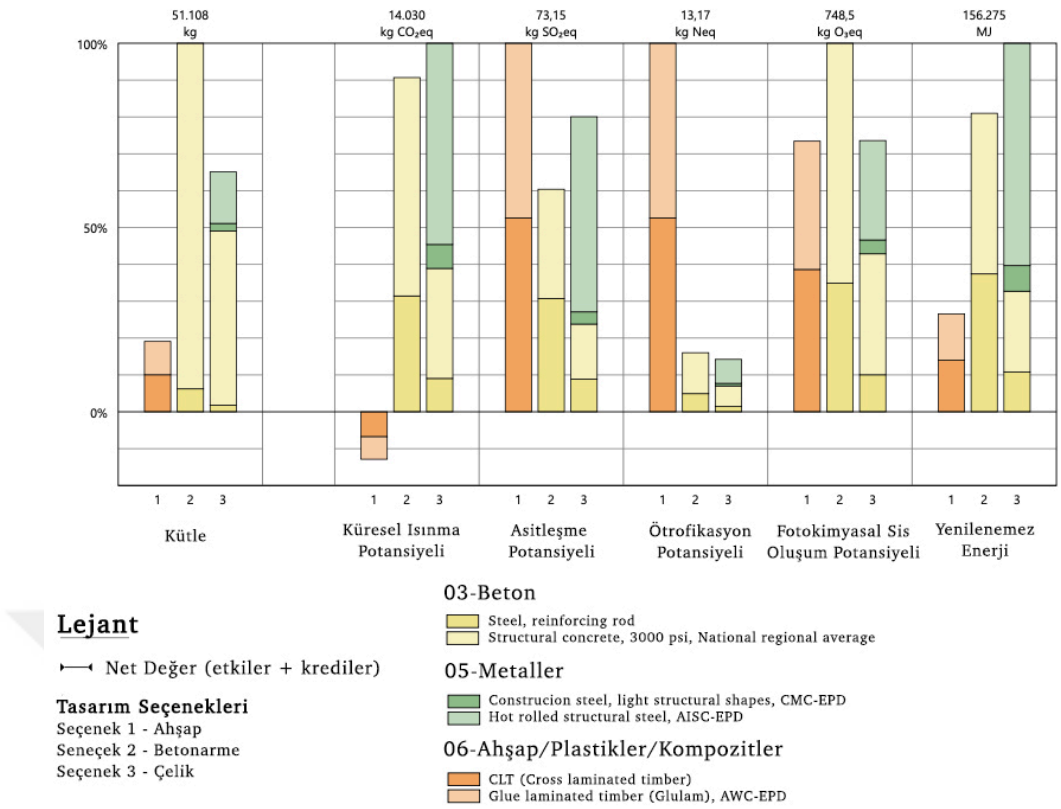
Tablo 5.4 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürlerin Tally'den elde edilen YDD sonuçları

Strüktür Tipi	Sonuç Kategorisi	Küresel Isınma kg CO_2 eşd.	Asitleşme kg SO_2 eşd.	Ötrofikasyon kg N eşd.	Ozon Tabakası İncelmesi CFC-11 eşd.	Fotokimyasal Sis Oluşumu kg O_3 eşd.	Birincil Enerji Talebi MJ	Yenilenebilir Enerji Talebi MJ	Yenilenemez Enerji Talebi MJ
BETONARME STRÜKTÜR	A1-A3 Yapı Ürünleri	12271	42,035	1,95	-2.736E-08	673,97	130348	6119,58	124303
	A4 Nakliye	111,61	0,51	0,04	004E-12	17,090	1623,18	39,25	1584,34
	C2-C4 Kullanım Sonu	1973,52	4,57	0,23	182E-12	91,077	16966,4	1120,98	15864,3
	Modül D	-1633	-2,95	-0,115	1.185E-08	-33,677	-14259,1	916,72	-15180,9
	Toplam	12723,2	44,173	2,109	-1.551E-08	748,46	134678	8196,5	126571
ÇELİK STRÜKTÜR	A1-A3 Yapı Ürünleri	12546,2	54,97	1,68	-6,41E-06	476,46	149001	5480,15	143325
	A4 Nakliye	72,64	0,33	0,02	2,48E-12	11,123	1056,44	25,54	1031,16
	C2-C4 Kullanım Sonu	993,29	2,30	0,11	9,15E-11	45,75	8523,61	563,15	7969,98
	Modül D	418,125	0,94	0,04	-2,79E-06	17,47	3624,12	-335,54	3947,7
	Toplam	14030,3	58,55	1,87	-9,2E-06	550,82	162205	5733,31	156274
ÇAĞDAŞ AHŞAP STRÜKTÜR	A1-A3 Yapı Ürünleri	-14042,8	36,08	2,11	006E-04	478,82	177486	116048	61437,6
	A4 Nakliye	21,29	0,09	0,008	7.294E-16	3,26	309,72	7,48	302,31
	C2-C4 Kullanım Sonu	11312,3	43,49	11,31	091E-12	146,28	6.182,7	367,65	5812,19
	Modül D	903,3	-6,5	-0,27	-001E-08	-78,79	-44466,6	-18626,3	-26037,8
	Toplam	-1806,22	73,15	13,16	006E-04	549,56	139412	97797,6	41514,2

Çalışma kapsamındaki betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçeneklerinin Tally'den seçilen yapı ürünleri doğrultusunda elde edilen YDD sonuçları incelendiğinde, çoğu etki kategorisi ve sürece göre çevre üzerindeki etkileri en az olan strüktür seçeneğinin çağdaş ahşap, en fazla olan seçeneğin ise çelik olduğu görülmüştür. Yukarıda tablolarla ifade edilen bu sonuç verilerine ait detaylı raporlar ayrıca Tally'den Excel ve PDF formatında elde edilebilir. Örneğin Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da üç strüktür seçeneğinin PDF raporundaki YDD sonuçları; tasarım seçenekleri ve Tally'den seçilen yapı ürünleri bağlamında görülmektedir. Bu grafikler sayesinde karar vericiler, seçebilecekleri strüktürlere ait ürün seçeneklerinin çevre üzerindeki etkilerini gözlemlemiş olurlar.



Şekil 5.9 Çalışma kapsamındaki strüktür seçeneklerinin YDD sonuçları



Şekil 5.10 Strüktürlerin Tally'den seçilen yapı ürünlerine göre YDD sonuçları

Belirtilen grafik tipleri dışında Tally sonuç raporlarında YDD hesaplama yöntemi ve yaşam döngüsü envanter verileri bulunmaktadır. Hesaplama yöntemi; YDD süreçleri ve çevresel etki kategorileri verilerini kapsamaktadır. Yaşam döngüsü envanter verileri ise Tally veritabanından seçilen yapı ürünleri ile ilgili bilgileri içermektedir. Sonuç PDF raporunun tamamı EK A'da görülmektedir.

PDF sonuç raporuyla birlite Tally dijital aracından Excel formatında da YDD sonuçları elde edilebilir. Excel raporunun değerlendirme kapsamı, PDF raporu ile aynıdır. Aralarındaki tek fark PDF dokümanında sonuçlar grafiklerle ifade edilirken Excel raporunda sonuçlar detaylı sayısal verileri içerir.

5.2.1.3 Tally'nin Genel Değerlendirmesi

YDD bağlamında ürün seçiminde Tally dijital aracının kullanımı doğrultusunda gerçekleştirilen irdelemede, aracın güçlü ve zayıf özelliklerine dair çeşitli değerlendirme sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar, Tally aracının yapı ürünü seçim süreci ile ilgili özellikleri, tasarım süreçlerine uygunluk ile ilgili özellikleri, yazılımsal özellikleri, veritabanı özellikleri, ekonomik özellikleri, YDD hesaplama

süreci ile ilgili özellikleri, kullanıcı odaklı özellikleri ve sonuç verileri ile ilgili özellikleri başlıklarınca sınıflandırılmıştır. Ardından araçla ilgili genel değerlendirme sonuçları elde edilmiştir.

Yapı Ürünü Seçim Süreci ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Yalnızca Revit modelleme bilgisi dijital aracın kullanımı için yeterlidir, ürün seçimi için ek bir program bilgisi için süre ve iş gücüne gereksinim yoktur. Bu sayede uzman olmayan kullanıcılar tarafından pratik bir biçimde kullanılabilir.
  - Yapı ürünlerinin sınıflandırması oldukça sistemlidir, kolaylıkla ürünler listelenip ürün türüne göre seçim yapılabilir.
  - Yapı ürünü seçimleri tasarımın herhangi bir sürecinde düzenlenebilir veya değiştirilebilir. Böylece işveren talepleri, karar verici kaynaklı herhangi bir hata veya tercihler doğrultusunda oluşabilecek ürün değişimleri, uygun bir şekilde tasarım sürecine entegre edilebilir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Ürün seçimlerinde otomatik ürün eşleştirmesi mümkün değildir. Seçimin karar vericinin kendisi tarafından gerçekleştirilmesi gerekir. Bu durum süre, maliyet ve iş gücü açısından bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.

Tasarım Süreçlerine Uygunluk ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Dijital aracın kullanımı, henüz ürünler ile ilgili kesin kararların verilmediği erken tasarım süreçleri için pratik olarak değerlendirilebilir. Araçta kolaylıkla ürün seçimleri ile ilgili değişimleri yapılarak ürünlerin çevresel performanslar gözlemlenebilir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Araç, Türkiye'deki üreticilere ait yapı ürünleri barındırmadığından ürün seçiminde tasarımın erken süreçleri için uygun olup, ürün seçiminin netleşmesi gereken ileri süreçleri için uygun değildir.

Yazılımsal Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Araçta, yapı ürünü seçiminde seçilecek ürün bilgileri ile ilgili ön gösterim ekranı bulunmaktadır. Bu sayede karar vericiler tarafından dilenirse seçilecek ürünlerin detaylarına inmeden incelemeler yapılabilir.
  - Eklentideki yenileme butonu ile Revit modeli üzerinde yapılan metraj gibi herhangi bir değişim, kolaylıkla dijital araca aktarılır.
  - Araç farklı tasarım seçeneklerini tek bir Revit dosyası içerisinden değerlendirir. Bu bağlamda araç, yapı ürünlerinin seçiminde karşılaştırmalar için dosya karmaşasını önler ve sistemli bir çalışma ortamı sağlar.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Revit dışında Rhino vb. başka bir dijital araca entegre edilemez.

Veritabanı Özellikleri

- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Araç, sisteminde yalnızca GaBi veritabanını barındırır. Bu sebeple seçilebilecek ürünler sınırlıdır.
  - Veritabanına kullanıcı tarafından el ile yapı ürünü verisi girişi mümkün değildir. Yapı ürünü seçimi yalnızca Tally veritabanındaki ürünler arasından yapılabilir.
  - Veritabanında Türkiye'den üreticiler ve yapı ürünleri mevcut değildir. Bu bağlamda ürün seçiminde Tally veritabanından Türkiye’deki ürünlere benzer ürünler arasından seçimler yapılarak yaklaşık YDD sonuçları elde edilebilir fakat kesin değerlere ulaşılamaz.

Ekonomik Özellikler

- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Aracın öğrenci sürümü ücretsiz, ticari sürümü ise paralıdır. Öğrenci sürümü, ticari sürümündeki tüm özellikleri barındırmamaktadır.

YDD Hesaplama Süreci ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:

    - Betonarme strüktür için çelik donatı hesabını araç kendi içerisinde gerçekleştirebilir. Bu durum, aracın tasarımın erken süreçlerinde kullanımı için bir avantaj olarak değerlendirilebilir.
    - Biyojenik karbon verileri hesaplamalara opsiyonel olarak dahil edilebilir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
    - Yapı ürünlerinin ve yapının hizmet ömrü 60 yıl olarak kabul edildiğinden yaşam döngüsünün C1 yıkım-söküm süreçleri otomatik olarak araç tarafından hesaplamalara dahil edilmemiştir.
    - Elektrik ve su tüketim verileri öğrenci sürümünde düzenlenememektedir. Bu sebeple B6 operasyonel enerji ve B7 operasyonel su kullanımı süreçleri ile ilgili YDD sonuçları elde edilememektedir.
    - Biyojenik karbon verisi hesaplamalara dahil edilebilir ancak ayrı bir sonuç verisi olarak gözlemlenemez.

Kullanıcı Odaklı Özellikler

- Aracın Güçlü Özellikleri:
    - Dijital araç Revit'e tamamen entegredir. Farklı ekranlar arasında geçiş yapmadan veya Revit yazılımından çıkmadan yapı ürünü seçimi yapılıp YDD verileri elde edilebilir.
    - Yapı ürünü seçiminde karar vericilere net seçenekler sağlar.
    - Aracın veritabanından seçilen yapı ürünleri aynı zamanda Revit modelindeki isimleriyle de görülebilir. Bu sayede kullanıcılar, hangi Revit familyası için hangi yapı ürününü seçmiş olduklarını görebilirler.
    - Seçilen yapı ürünleri ile ilgili genel bilgiler, metraj bilgileri ve ilgili ürünlerin üç boyutlu model/çizimleri, dijital aracın arayüzünde aynı ekranda görülmektedir. Bu sayede kullanıcılar, ürün ile ilgili ne tür seçimler yaptıklarını alt menülere inmeden görebilir.
    - Yapı ürünleri ile ilgili karar vericiler tarafından henüz net karar verilmemiş (örneğin ürünün yangın dayanımı gibi) olan verilerin düzenlenmesi, tasarımın ilerleyen süreçlerinde gerçekleştirilebilir.
- Aracın Zayıf Özellikleri:
    - Dijital aracın kullanımı ve ürün seçim süreçleri ile ilgili net bir kullanıcı kılavuzu bulunmamaktadır. Dolayısıyla karar vericiler, dijital aracı

öğrenmek için belli bir süre harcarlar. Bu durum iş gücü ve maliyet açısından bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.

- Yapı ürünü seçiminde dijital araç, karar vericilere destek sağlamak için Revit'ten alınan ürün bilgileri doğrultusunda örnek otomatik ürün eşleşmesi sağlamaz. Ürün seçenekleri üzerinden kullanıcıların kendi gereksinmeleri doğrultusunda seçim işlemini gerçekleştirmeleri gerekmektedir.
- Dijital araçta yapı ürünü seçiminden önce, seçilebilecek ürün seçeneklerinin çevresel etkileri ile ilgili bir ön gösterim yer almamaktadır. Çevresel etkiler yalnızca ürün seçimi sonrasında elde edilen sonuç raporunda görülebilir. Bu durum karar vericilerin her seferinde yapı ürünü seçimini yapıp ardından sonuç raporunu incelemelerine sebep olarak süre açısından dezavantaj oluşturur.

Sonuç Verileri ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Özellikleri:
  - Sonuç raporları Excel ve PDF formatlarında otomatik elde edilebilir. Otomatik olarak sonuçları elde etmek karar vericilere süre açısından avantaj sağlar.
  - PDF sonuç raporunda seçilen yapı ürünlerine veya strüktür seçeneklerine ait karşılaştırmalı sonuç grafikleri elde edilebilir.
  - PDF sonuç raporunda detaylı YDD hesaplama yöntemi ve seçilen yapı ürünleri ile ilgili envanter analizi verileri bulunmaktadır.
  - Sonuç raporları, hem Tally'deki seçilen ürünler hem de Revit'teki ürün isimleri üzerinden elde edilebilir. Bu sayede Revit adlandırmaları ile kolaylıkla hangi ürünün ne derece çevresel etkisi olduğu görülebilir.
  - Rapor çıktısı detaylı ve anlaşılırdır.
  - YDD sonuç raporları, ürünlerin veya yapının tümünün karşılaştırmaları üzerinden elde edilir. Bu sayede hangi ürünün veya yapının çevresel etkilerinin ne seviyede olduğu kolaylıkla gözlemlenebilir.
- Aracın Zayıf Özellikleri:
  - Ayrı Revit dosyaları üzerinden karşılaştırmalı sonuç grafikleri düzenlenemez. Karşılaştırma seçeneği yalnızca aynı Revit dosyası

içerisindeki tasarım opsiyonları ile gerçekleştirilebilir. Bu durum, tasarım seçeneklerini farklı Revit dosyalarında geliştiren kullanıcılar açısında bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.

- YDD sonuçları, eklenti içerisinde kullanım esnasında görsel olarak elde edilemez. Sonuçlar yalnızca PDF ve Excel formatlarında elde edilebilir. Bu sebeple tasarımda yapılan değişimler sonrası her seferinde yeniden bu dosya formatlarında sonuç verileri elde edilmek durumunda kalınır.

Dijital Aracın Genel Değerlendirmesi

Tally dijital aracı, YDD süreçlerinde uzman olan veya olmayan karar vericilerin kolaylıkla çevresel performansı yüksek ürünlerin seçimini yaparak çevreye ve insan sağlığına katkı sağlamalarına olanak tanır. Mimarlık sektöründe sıklıkla kullanılan Revit aracına entegrasyonu sayesinde süre, maliyet ve iş gücü açısından avantajlar sağlar. Ayrıca çevresel performansı yüksek olan ürünlerin seçilmesini teşvik ederek sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Türkiye verilerinin dijital araçta olmaması durumunun negatif olarak değerlendirilmesinin dışında dijital araç, YDD bağlamında yapı ürünü seçiminde pratik, sistemli ve YDD yöntemine uygun olarak değerlendirilmiştir.

5.2.2 One Click LCA Dijital Tasarım Aracı

One Click LCA, web ve bulut tabanlı otomatik bir yaşam döngüsü değerlendirmesi aracıdır. Yapıların ve yapı ürünlerinin çevresel etkilerini hesaplamak, değerlendirmek ve sürdürülebilir tasarımlar oluşturmak için geliştirilen bir yazılımdır (Apellániz vd., 2020; Köseci, 2018).

One Click LCA, çeşitli yazılımlara entegre edilebilen bir web arayüzü üzerinden veya yazılımlara eklenti (plug-in) olarak eklenerek otomatik şekilde YDD hesaplamalarını gerçekleştirir. Araç ayrıca yaşam döngüsü maliyet analizi, gömülü karbon analizi, EPD edinimi, tasarım optimizasyonu, sera gazı emisyonu raporlaması, altyapı inşaat değerlendirmeleri için çözümler sunar. Tablo 5.5'te One Click LCA aracının yazılımsal (program arayüzü, uyumlu olduğu işletim sistemi vb.), veritabanı, ekonomik (lisans tipleri), YDD hesaplama yöntemi (değerlendirilen yapı ve proje tipleri, etki kategorileri vb.) ile ilgili genel özellikleri görülmektedir.

Tablo 5.5 One Click LCA dijital aracı genel özellikleri

ONE CLICK LCA (Öğrenci Sürümü)	
Geliştirici, Ülke	Bionova Ltd., Finlandiya
Versiyon	v4.0.2.
Web Sitesi	www.oneclicklca.com
Lisans Tipleri	Starter (Başlangıç), Business (İşletme), Expert (Uzman), Student Licence (Öğrenci Sürümü)
Program Arayüzü	Online Arayüz/Revit Arayüzü/Rhinoceros Arayüzü
Uyumlu Olduğu İşletim Sistemi	Windows
Veritabanları	Ecoinvent, GaBi ve EPD'ler
Veritabanı Konumları	Avrupa, Kuzey Amerika, Asya Pasifik, Orta Doğu Güney Amerika
Yöntem	CML-IA 2012, TRACI
Kabul Edilen Standartlar	EN 15978, EN 15804, ISO 14040, ISO 14044, ISO 21931-1, ISO 21929-1
Sertifika Sistemleri ile Uyum	LEED, BREEAM, DGNB, HQE vb. 40'tan fazla sertifika sistemi ile uyumludur.
Değerlendirilen Yapı Tipleri	Konut, Kültür, Endüstri, Eğitim, Sağlık, Otel, Ofis, Ulaşım Yapıları, Tarihi Yapılar
Değerlendirilen Proje Tipleri	Yeni Yapı, Mevcut Bir Yapının Yenilenmesi Mevcut Bir Yapının Genişletilmesi, İç Mimari Proje Yapı Bileşeni Gelişimi
Projenin Değerlendirme Süreçleri	0 - Stratejik Tanımlama Süreci 1 - Hazırlık ve Özet/Programlama Süreci 2 - Konsept/Şematik Tasarım Süreci 3 - Tasarım Geliştirme Süreci 4 - Uygulama Projesi Süreci 5 - İnşaat/İnsaat Yönetimi Süreci 6 - Proje Tamamlanma Süreci 7 - Kullanım Süreci 8 - Sadece Yapı Elemanı
Çalışma Seçenekleri	- Tek Bir Yapının Değerlendirmesi - Birden Fazla Yapının Karşılaştırması
Taşıyıcı Tipleri	Kesinleşmemiş, Betonarme Taşıyıcı, Çelik Taşıyıcı Ahşap Taşıyıcı, Karma Sistem, Var Olan Taşıyıcı
Değerlendirilen Yapı Elemanları	Temel, Dış Duvar, İç Duvar, Kolon, Kiriş, Kapı Pencere, Kaplama, Arazi, Döşeme, Tavan, Çatı
Değerlendirilen YDD Süreçleri	A1-A3, A4, A5, B1-B5, B6, B7, C1-C4, Modül D

Tablo 5.5 One Click LCA dijital aracı genel özellikleri (devamı)

ONE CLICK LCA (Öğrenci Sürümü)	
Etki Kategorileri	- Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) - Asitleşme Potansiyeli (AP) - Ötrofikasyon Potansiyeli (EP) - Ozon Tabakasının İncelme Potansiyeli (ODP) - Fotokimyasal Sis Oluşum Potansiyeli (POCP) - Toplam Birincil Enerji Tüketim Potansiyeli - Biyojenik Karbon Depolama
Ulaşım Verileri	Düzenlenebilir
Enerji Tüketim Verileri	Düzenlenebilir
Su Tüketim Verileri	Düzenlenebilir
Yapı Ömrü	0-80 Yıl

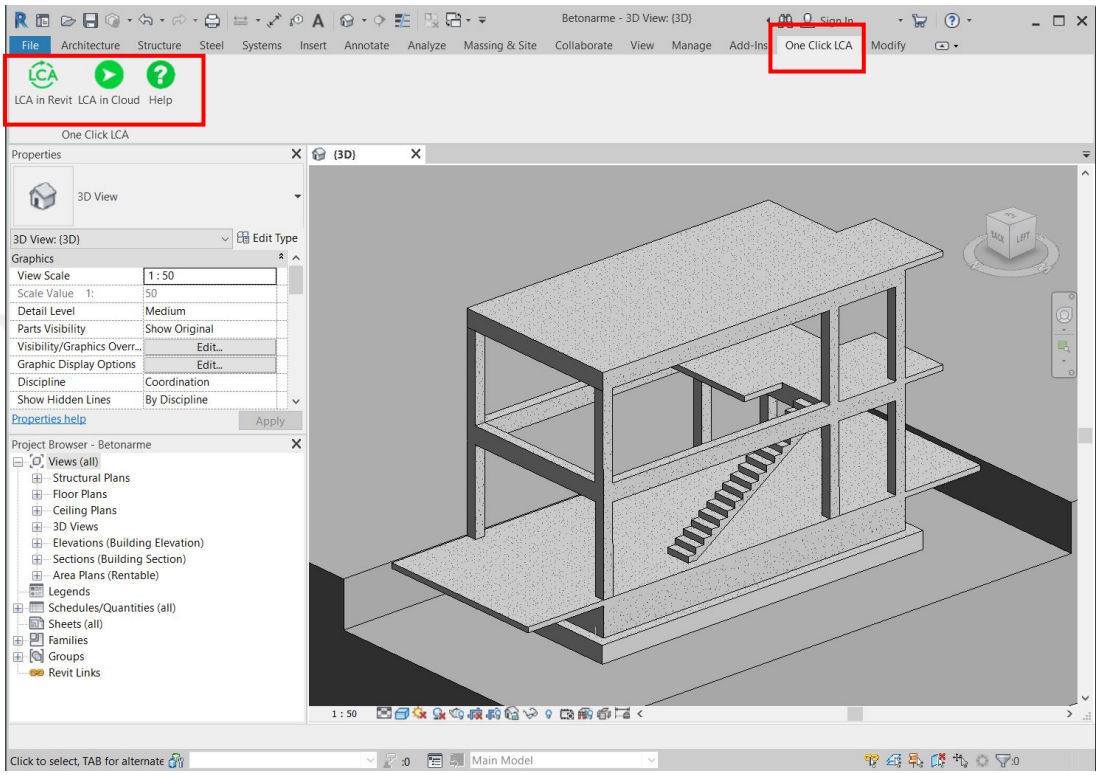
One Click LCA, çeşitli kamu ve özel kaynaklardan gelen 100.000'den fazla veri barındıran bulut veritabanı içerir. Bu veritabanına ana bilgilerin akışı, Ecoinvent ve GaBi veritabanlarından gerçekleştirilir. Veritabanındaki bilgiler, farklı ülkelerdeki yapı ürünü üreticilerinden alınan veriler ve 26 farklı EPD veritabanından toplanan üretici veya ürün kategorisi EPD'lerine dayanmaktadır. One Click LCA aracı, YDD hesaplamalarını belirtilen veritabanlarından ve EPD'lerden elde edilen ürün bilgileri doğrultusunda gerçekleştirir (One Click LCA, 2022).

Birlikte çalışabilirlik bağlamında One Click LCA, ArchiCAD, Tekla Structures, Rhinoceros-Grasshopper ve Revit yazılımlarına eklentiler ile entegre edilebilir Tez çalışması kapsamında belirtilen yazılımlar içerisinden kullanım kolaylığı, hızlı ve doğru sonuçlar vermesi, güncelliği ve öğrenci sürümünün ücretsiz olması sebepleriyle Revit-One Click LCA entegrasyonu seçilmiş ve bu entegrasyon ile YDD bağlamında ürün seçim süreci ele alınmıştır.

5.2.2.1 One Click LCA'nın Kullanımı ve Yapı Ürünü Seçimi

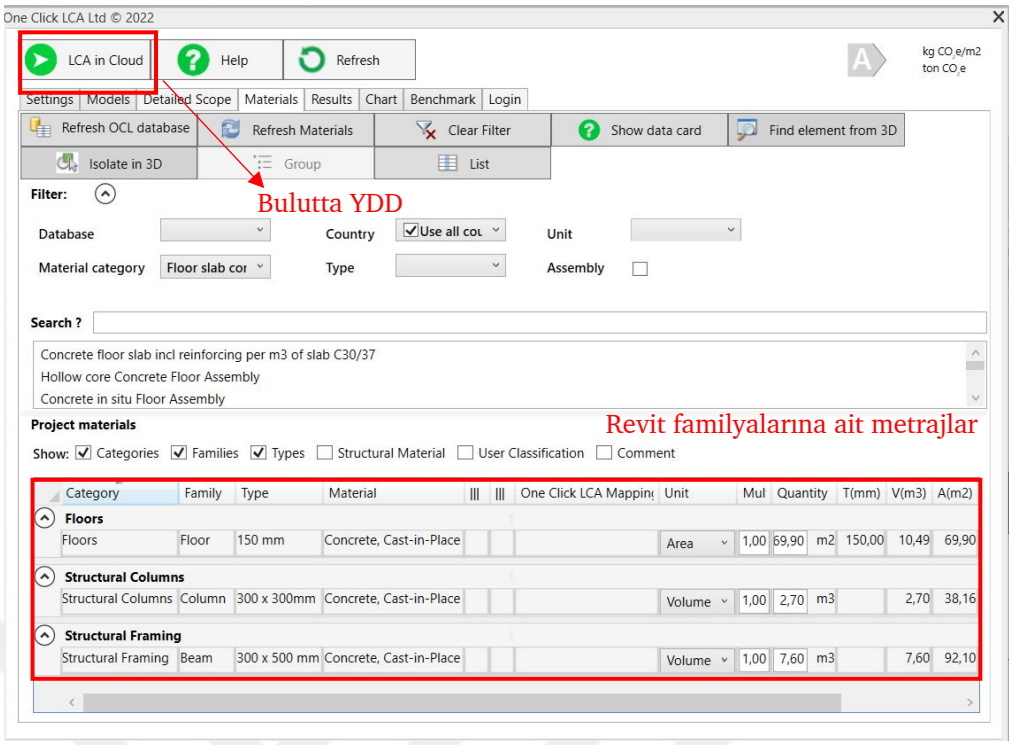
One Click LCA genel olarak, Revit modelini oluşturan familyaların, yapı ürünlerinin ve metrajlarının otomatik olarak aracın Revit eklentisine ve ardından web arayüzüne aktarımı, aktarılan ürünlerin One Click LCA veritabanından seçilen ürünlerle eşleştirilmesi ve bu doğrultuda YDD hesaplamalarının yapılıp ürünlere ait YDD sonuçlarının elde edilmesi üzerine şekillenmektedir.

One Click LCA dijital aracı, Autodesk Revit'e eklenti şeklinde entegre edilir. İlgili eklenti, Revit arayüzünde üst çubuk menüsünde One Click LCA adıyla yer almaktadır (Şekil 5.11). Eklenti, yazılımın ücretli sürümlerinde tüm özellikleri ile kullanılabilirken öğrenci versiyonunda ise kısmi kullanılmaktadır. Çalışmada gerçekleştirilen irdelemelerde eklentinin öğrenci sürümü kullanılmıştır.



Şekil 5.11 One Click LCA eklentisi ve aracın butonu

One Click LCA aracının çalıştırılması için öncelikle Revit'teki 'Revit'te YDD (LCA in Revit)' butonuna tıklanır. Araç başlatıldıktan sonra Revit modelindeki familyalara ait metraj ve ürün bilgileri otomatik olarak One Click LCA eklentisine aktarılır. Aktarılan bu familyalara ait yapı ürünlerinin ve metrajların bir dökümü 'malzemeler (materials-MA)' sekmesi altında elde edilir. MA sekmesinde yer alan 'veritabanı (database)', 'ülke (country)' ve 'ürün kategorisi (material category)' filtreleri ile Revit programından çıkmadan One Click LCA veritabanında tanımlı olan yapı ürünlerinden seçim yapılabilir. Ayrıca daha detaylı yapı ürünü seçim işlemi, eklenti içerisindeki 'bulutta YDD (LCA in Cloud)' butonuna tıklanıp One Click LCA'nın web sürümüne geçiş yapılarak online olarak gerçekleştirilebilir. Şekil 5.12'de konut yapısının betonarme strüktür seçeneği için Revit modelinden One Click LCA eklentisine aktarılan örnek ürün ve metraj bilgileri görülmektedir.

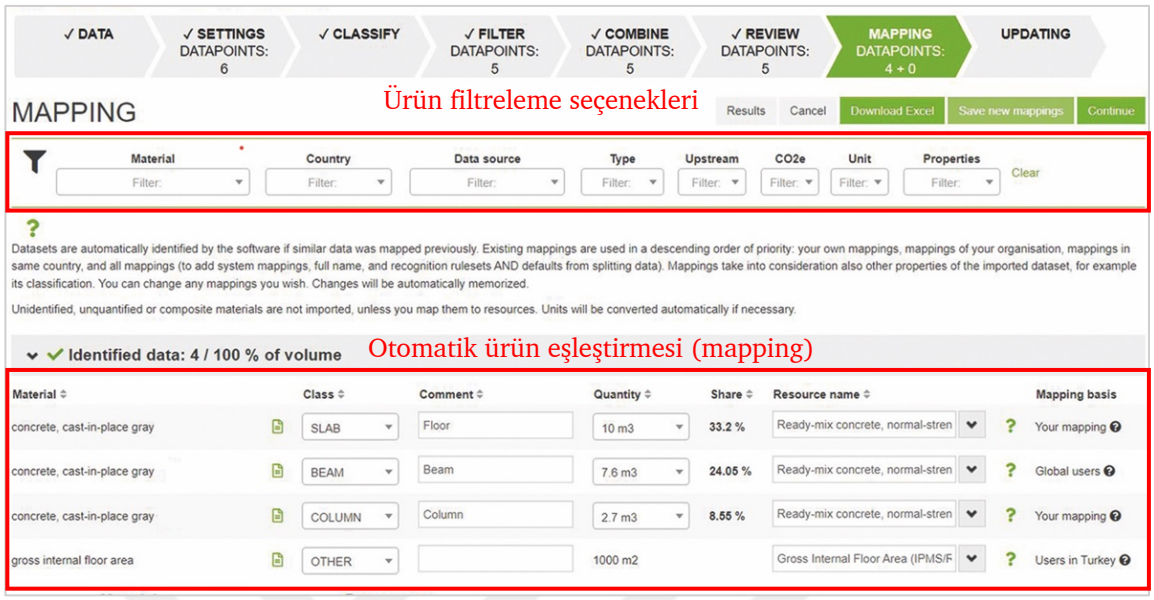


Şekil 5.12 Betonarme strüktüre ait Revit modelinden One Click LCA'ya aktarılan familya, malzeme ve metraj bilgileri ile bulutta YDD sekmesi

LCA in Cloud butonu ile, Revit içerisinden elde edilen ürün ve metraj bilgileri otomatik olarak One Click LCA web sürümüne aktarılır. Yazılımın ücretli sürümlerinde eklentinin 'sonuçlar (results)' sekmesi altında, seçilen yapı ürünlerine ait YDD sonuçlarının bir ön gösterimi elde edilebilir ancak çalışmada öğrenci sürümü kullanıldığından detaylı yapı ürünü seçimleri ve YDD sonuçları için Revit'ten bulutta YDD ile web sürümüne geçiş yapılmıştır.

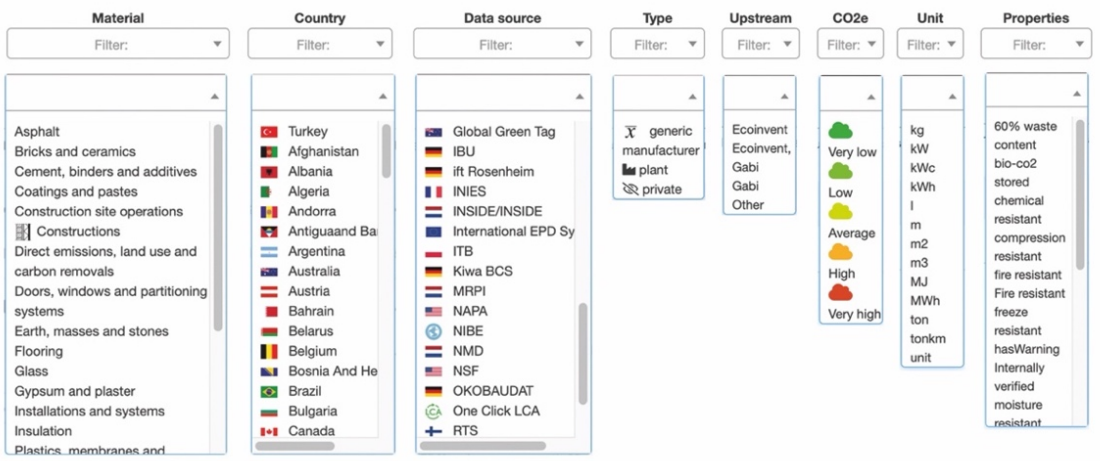
One Click LCA web sürümüne geçtikten sonraki ilk ekranda karar verici tarafından proje aşaması, proje tipi, taşıyıcı tipi ve hesaplamalara dahil edilecek olan yapı bölümleri ile ilgili bilgiler girilir. Ardından aktarılan familyalara ait ürün ve metraj bilgileri, One Click LCA web aracı tarafından otomatik olarak 'eşleştirme (mapping)' olarak ifade edilen veritabanındaki en uygun yapı ürünleriyle eşleştirilir. Eşleştirme, öncelikli olarak projenin bulunduğu ülkenin yerel üreticileri arasından gerçekleştirilir. Eğer uygun bir üretici bilgisine erişilemiyorsa veritabanından Revit üzerinde tanımlanmış yapı ürününe en benzer, tüm ülkelerde benzer özellik ve değerlere sahip 'genel (generic)' ürünler arasından yine araç tarafından otomatik bir şekilde eşleştirme yapılır. Şekil 5.13'te çalışma

kapsamında tasarlanan konut yapısının betonarme strüktür seçeneği için One Click LCA'nın gerçekleştirdiği otomatik ürün eşleşmesi örneği görülmektedir.



Şekil 5.13 Betorname strüktür için One Click LCA'da otomatik yapı ürünü eşleşmesi ve ürün filtreleme seçenekleri

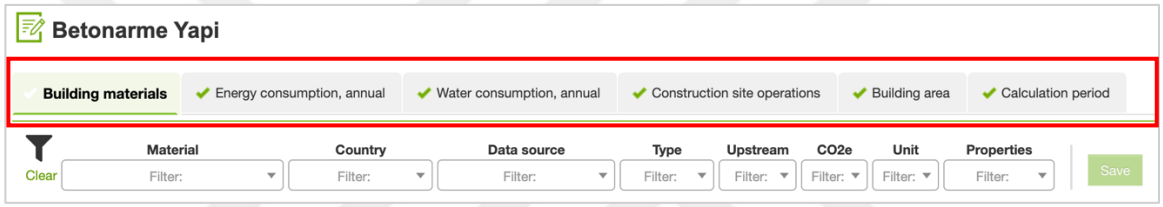
One Click LCA tarafından otomatik olarak gerçekleştirilen bu ön ürün eşleşmesi, eşleşmenin gerçekleştiği an veya daha sonra karar verici tarafından düzenlenebilir. Eşleşmenin gerçekleştiği anda ürün değiştirilmek isteniyorsa, çeşitli filtreleme seçenekleriyle ürünler incelenip seçim yapılabilir. Filtreler 'malzeme tipi (material)', 'ülke (country)', 'veri kaynağı (data source)', 'ürün tipi (type)', 'ana veri kaynağı (upstream)', 'karbon ayak izi (CO_2e)', 'birim (unit)' ve 'ürün özellikleri (properties)' şeklindedir (Şekil 5.13, Şekil 5.14).



Şekil 5.14 One Click LCA dijital aracı yapı ürünü filtreleme seçenekleri

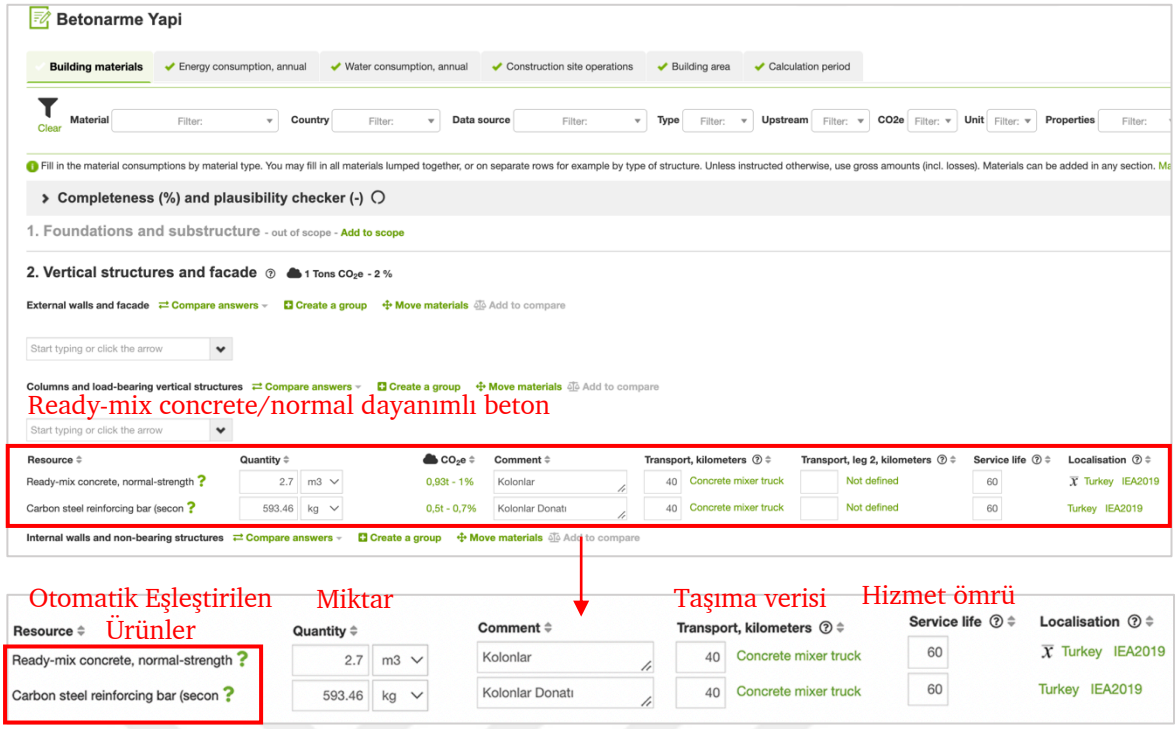
Eğer otomatik ürün eşleşmesi istenmiyor veya ürün bilgileri daha detaylı incelenerek seçim yapılmak isteniyorsa, ilgili ürünler seçim yapılmadan boş bırakılıp ilerleyen süreçlerinde seçilmek üzere işaretlenebilir. Ürün seçimlerinin dijital aracın farklı adımlarında yapılması ve düzenlenmesi mümkündür.

One Click LCA aracında YDD hesaplamalarının sistemli bir biçimde gerçekleştirilebilmesi için çeşitli başlıklar yer almaktadır. Sistemdeki ön ürün eşleşmesi sonrasında projeyle ilgili verilerin ve yapı ürünlerinin yeniden düzenlenebildiği bu başlıklar; 'yapı ürünleri (building materials-BUM)', 'yıllık enerji tüketimi (energy consumption, annual)', 'yıllık su tüketimi (water consumption, annual)', 'inşaat alanı yönetimi (construction site operations)', 'bina alanı (building area)' ve 'döngü hesaplamadır (calculation period)' (Şekil 5.15).

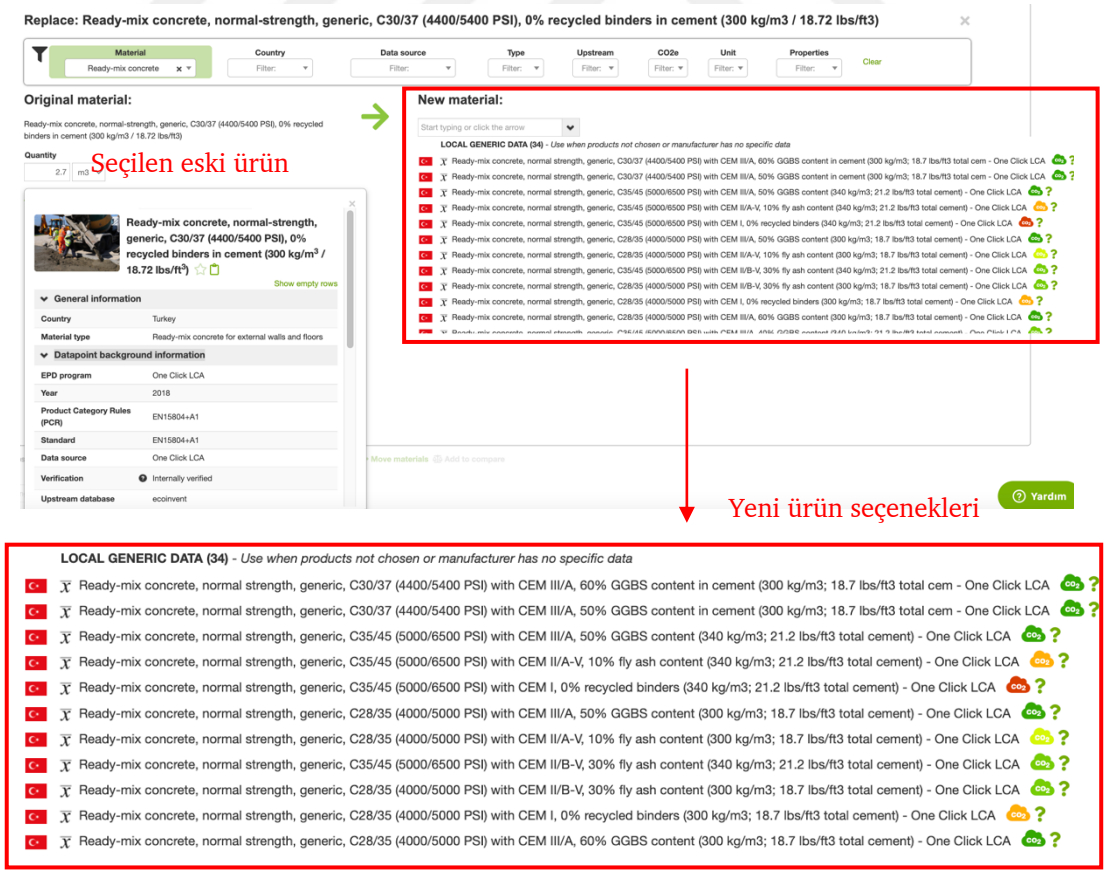


Şekil 5.15 One Click LCA aracı, genel proje bilgileri ekranları

Proje ile ilgili hiç yapı ürünü seçimi yapılmamışsa veya ön eşleşme ile otomatik seçilen yapı ürünleri değiştirilmek veya düzenlenmek isteniyorsa BUM başlığına gidilir. Şekil 5.16'da örnek yapıya ait betonarme strüktür seçeneğinin otomatik eşleştirilen yapı ürünleri ekranının geneli ve detayları görülmektedir. Örneğin betonarme kolonlar için bu ön eşleşmede otomatik seçilen 'normal dayanımlı beton (ready-mix concrete, normal-strength)' ürününün değişimi için 'kaynak (resource)' başlığında sıralanan, değiştirilmek istenen ürüne tıklanır. Ardından 'değiştir (change)' butonu ile yeni açılan değişim ekranına geçilir. Bu ekranda da One Click LCA veritabanındaki ürünler, ön eşleşmede olduğu gibi gereklilikler doğrultusunda filtrelenebilir. Şekil 5.17'de bu normal dayanımlı beton ürünü için açılan değişim ekranı görülmektedir. Değişim ekranında önceki seçilmiş olan yapı ürünü ve özellikleri ile filtrelemeler ile otomatik dökümü elde edilen yeni ürün seçenekleri bulunmaktadır. One Click LCA dijital aracı ile yeni ürün seçimleri yapılıp taşıma, hizmet ömrü gibi gerekli verilerin girilmesi sonrasında YDD sonuç verileri elde edilir.



Şekil 5.16 Betonarme strüktür kolonları için otomatik eşleştirilen yapı ürünleri



Şekil 5.17 Örnek betonarme strüktür için açılmış olan ürün değişim ekranı

Çalışma kapsamında örnek yapının betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için One Click LCA aracıyla belirtilen yöntemle ürünlerin seçimi yapılmış ve YDD sonuçları elde edilmiştir. Ürün seçiminde ilk olarak Türkiye'de üretilen yerel ürünler tercih edilmiştir. Yerel ürünlerin bulunamaması halinde One Click LCA veritabanındaki genel ürünler arasından seçim yapılmıştır. Tablo 5.6'da betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için One Click LCA aracından seçilen yapı ürünü bilgileri görülmektedir. Betonarme yapı için One Click LCA, Revit modelinden yalnızca beton metrajını çekmekte ve donatı hesabını yapmamaktadır. Bu sebeple donatı metrajları, Tally aracında otomatik hesaplanan değerlerce kabul edilmiştir. Bu değerler döşeme için 87, 24 kg/m^3 ve kolon-kirişler için 219,8 kg/m^3'tür.

Tablo 5.6 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için One Click LCA'dan seçilen yapı ürünleri

Tip	Ürün Kaynağı	Miktar	Açıklama
BETONARME STRÜKTÜR	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37 (4400/5400 PSI), 0% recycled binders in cement (300 kg/m^3 / 18.72 lbs/ft^3)	2,7 m^3	Kolonlar-hazır beton karışımı
	Carbon Steel Reinforcing Bar (secondary production route–scrap), E 200 kN/mm^2, YS min 0.5 kN/mm^2, TS 0.54 kN/mm^2 (Diler Demir Celik Endustri ve Ticaret A.S.)	593,46 kg	Kolonlar-çelik donatı
	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37 (4400/5400 PSI), 0% recycled binders in cement (300 kg/m^3 / 18.72 lbs/ft^3)	7,6 m^3	Kirişler-hazır beton karışımı
	Carbon Steel Reinforcing Bar (secondary production route–scrap), E 200 kN/mm^2, YS min 0.5 kN/mm^2, TS 0.54 kN/mm^2 (Diler Demir Celik Endustri ve Ticaret A.S.)	1670,48 kg	Kirişler-çelik donatı
	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37 (4400/5400 PSI), 0% recycled binders in cement (300 kg/m^3 / 18.72 lbs/ft^3)	10 m^3	Döşemeler-hazır beton karışımı
	Carbon Steel Reinforcing Bar (secondary production route–scrap), E 200 kN/mm^2, YS min 0.5 kN/mm^2, TS 0.54 kN/mm^2 (Diler Demir Celik Endustri ve Ticaret A.S.)	872,4 kg	Döşemeler-çelik donatı

Tablo 5.6 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için One Click LCA'dan seçilen yapı ürünleri (devamı)

Tip	Ürün Kaynağı	Miktar	Açıklama
ÇELİK STRÜKTÜR	Structural hollow steel sections (HSS), generic, 10 % recycled content, circular, square and rectangular profiles, S235, S275 and S355	0,133 m^3	Kolonlar-SHS profil
	Structural steel profiles, generic, 0% recycled content (only virgin materials), I, H, U, L, and T sections, S235, S275 and S355	0,411 m^3	Kirişler-IPN profil
	Structural steel profiles, generic, 0% recycled content (only virgin materials), I, H, U, L, and T sections, S235, S275 and S355	0,279 m^3	Kirişler-IPN profil
	Structural steel profiles, generic, 0% recycled content (only virgin materials), I, H, U, L, and T sections, S235, S275 and S355	0,219 m^3	Kirişler-IPN profil
	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37 (4400/5400 PSI), 0% recycled binders in cement (300 kg/m^3/18.72 lbs/ft^3)	10 m^3	Döşemeler-hazır beton karışımı
	Carbon Steel Reinforcing Bar (secondary production route –scrap), E 200 kN/mm^2, YS min 0.5 kN/mm^2, TS 0.54 kN/mm^2 (Diler Demir Celik Endustri ve Ticaret A.S.)	872,4 kg	Döşemeler-çelik donatı
ÇAĞDAŞ AHŞAP STRÜKTÜR	Glue laminated timber, 500.33 kg/m^3, 10.61% moisture content, Duobalken, Triobalken Konstruktionsvollholz e.V.	3,12 m^3	Kolonlar-glulam
	Glue laminated timber, 500.33 kg/m^3, 10.61% moisture content, Duobalken, Triobalken Konstruktionsvollholz e.V.	5,54 m^3	Kirişler-glulam
	Cross laminated timber (CLT), 470 kg/m^3, X-LAM (W. u. J. Derix, for German market)	69,81 m^2	Döşemeler-clt (çapraz lamine ahşap)

5.2.2.2 One Click LCA ile Elde Edilen Sonuç Verileri

Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürler için seçilen yapı ürünleri ve girilen diğer verilerle birlikte One Click LCA dijital aracında yaşam döngüsü değerlendirmesi sonuçlarına ulaşılmıştır. Sonuç ile seçilen yapı ürünlerinin yaşam

döngüsü süreçlerindeki küresel ısınma potansiyeli asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, ozon tabakasının incelme potansiyeli, ozon oluşum potansiyeli, ürünlerin toplam birincil enerji tüketimi potansiyeli, biyojenik karbon depolama potansiyeli değerleri elde edilmiştir. Belirtilen sonuç verilerine ek olarak One Click LCA aracı karar vericilere strüktürlerle ilgili belirlenen ömür sonunda oluşan karbon emisyon miktarı, mevcut karbon maliyeti ve gömülü karbon değerleri bilgilerini sağlar. Tablo 5.7'de betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçeneklerinin YDD sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.7 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürlerin One Click LCA'dan elde edilen YDD sonuçları

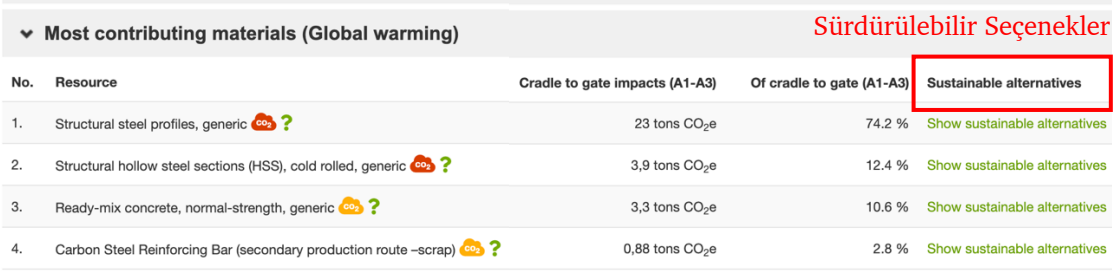
Strüktür Tipi	Sonuç Kategorisi	Küresel Isınma kg CO_2 eşd.	Asitleşme kg SO_2 eşd.	Ötrofikasyon kg PO_4 eşd.	Ozon Tabakası İncelmesi CFC-11eşd.	Ozon Oluşumu kg C_2H_4 eşd.	Birincil Enerji Tüketimi MJ	Biyojenik Karbon kg CO_2 eşd. bio
BETONARME STRÜKTÜR	A1-A3 Yapı Ürünleri	9922,84	30,89	4,93	0,00012	1,57	75812,86	0
	A4 Nakliye	269,65	0,39	0,08	0,00004	0,04	4107,02	0
	A5 Yapı İnşaa Süreci	1242,93	2,11	0,49	0,00020	0,19	31233,28	0
	B6 Enerji Kullanımı	59320,37	432,4	101,97	0,00167	14,78	879857,7	0
	B7 Su Kullanımı	2496,60	13,52	6,84	0,000272	0,61	52782,14	0
	Toplam	73252,4	479,31	114,31	0,002316	17,19	1403793	0
ÇELİK STRÜKTÜR	A1-A3 Yapı Ürünleri	31300,97	125,39	21,98	0,001672	16,32	447370,8	0
	A4 Nakliye	141,87	0,25	0,05	0,000024	0,02	2326,53	0
	A5 Yapı İnşaa Süreci	1242,93	2,11	0,49	0,000206	0,19	31233,28	0
	B6 Enerji Kullanımı	59320,37	432,4	101,97	0,001672	14,78	879857,7	0
	B7 Su Kullanımı	2496,60	13,52	6,84	0,000272	0,61	52782,14	0
	Toplam	94502,75	573,66	131,33	0,003847	31,92	1413570	0

Tablo 5.7 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürlerin One Click LCA'dan elde edilen YDD sonuçları (devamı)

Strüktür Tipi	Sonuç Kategorisi	Küresel Isınma kg CO_2 eşd.	Asitleşme kg SO_2 eşd.	Ötrofikasyon kg PO_4 eşd.	Ozon Tabakası İncelmesi CFC-11eşd.	Ozon Oluşumu kg C_2H_4 eşd.	Birincil Enerji Tüketimi MJ	Biyojenik Karbon kg CO_2 eşd. bio
ÇAĞDAŞ AHŞAP STRÜKTÜR	A1-A3 Yapı Ürünleri	3050,67	22,79	17,68	0,000259	3,36	392288,88	16.459,47
	A4 Nakliye	14,16	0,07	0,01	0,000002	0	403,15	0
	A5 Yapı İnşaa Süreci	1242,93	2,11	0,49	0,000206	0,19	31233,28	0
	B6 Enerji Kullanımı	59320,37	432,4	101,97	0,00167	14,78	879857,76	0
	B7 Su Kullanımı	2496,60	13,52	6,84	0,00027	0,61	52782,14	0
	Toplam	66124,75	470,88	126,99	0,00241	18,94	1356565,2	16.459,47

Çalışma kapsamındaki betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için One Click LCA'da seçilen yapı ürünleri doğrultusunda elde edilen YDD sonuçları incelendiğinde, çoğu etki kategorisi ve sürece göre çevresel etkileri en az olan strüktürün çağdaş ahşap, en fazla olan seçeneğin ise çelik olduğu görülmüştür.

One Click LCA aracı ile belirtilen sonuçlar dışında, proje kapsamında seçilen ürünlerin küresel ısınma açısından değerlendirmeleri yapılır. Yüzdesel olarak hangi ürünün çevre üzerinde daha fazla etkisi olduğu bu bağlamda gözlemlenebilir olmaktadır. Ayrıca küresel ısınma değerlendirmelerinin yapıldığı başlıkta 'sürdürülebilir seçenekleri göster (show sustainables alternatives)' butonu ile, seçilen yapı ürünlerinin daha sürdürülebilir seçenekleri listelenmekte ve bu sayede küresel ısınma üzerindeki etkisi daha az olan ürünlerin seçimi gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 5.18). Şekil 5.19'da örnek çelik kare profilin sürdürülebilir seçenekleri görülmektedir.

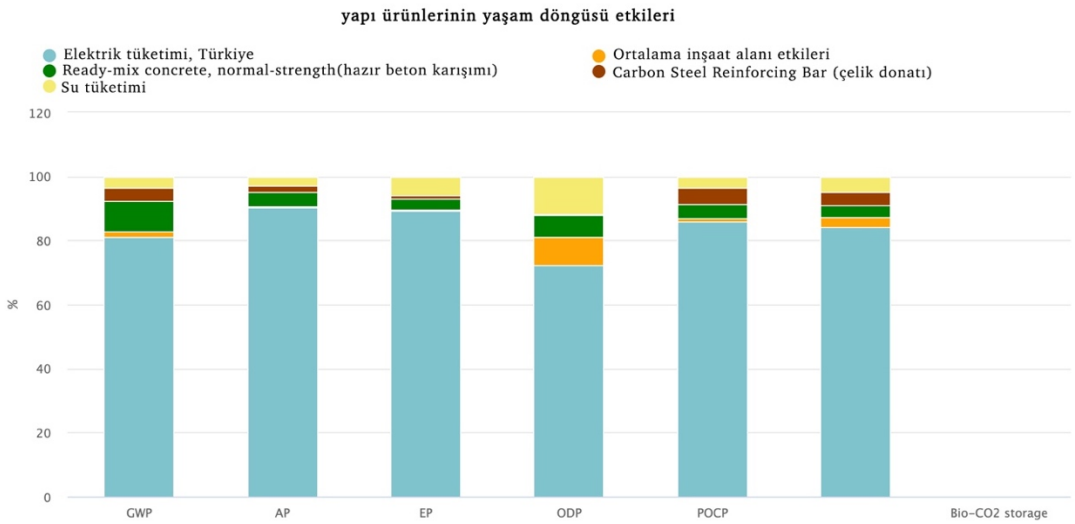


Şekil 5.18 Örnek yapının çelik strüktür seçeneğini oluşturan yapı ürünlerinin küresel ısınma üzerindeki yüzdesel etkileri

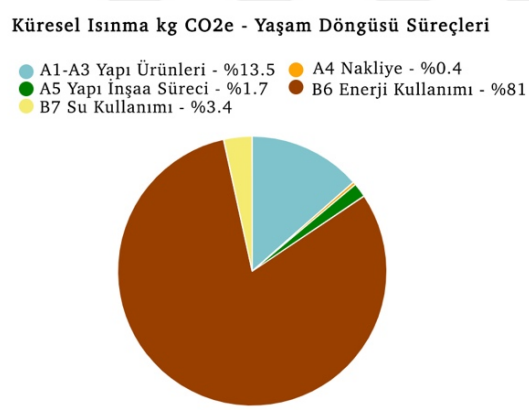


Şekil 5.19 Çelik profilin sürdürülebilir seçenekleri

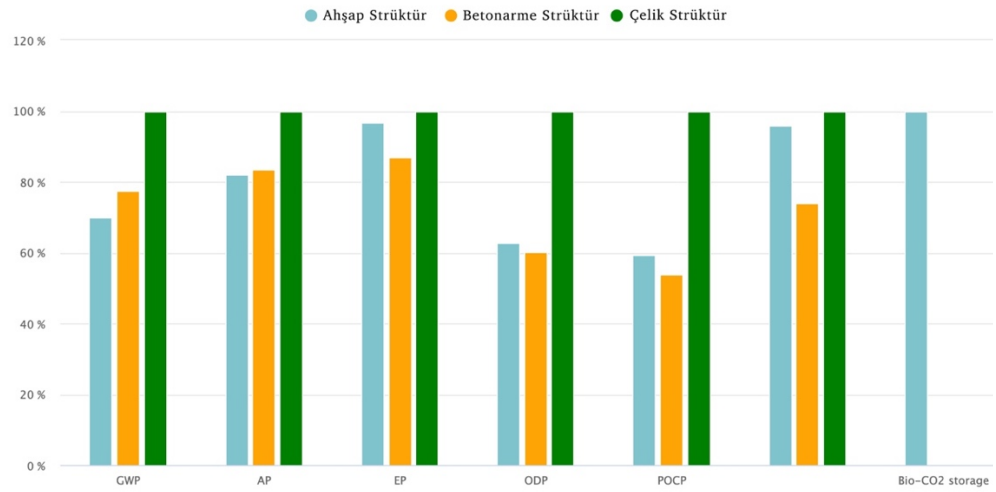
Sonuçlarda ayrıca seçilen yapı ürünlerinin bir listesi elde edilmektedir. Bu liste ile ürünlere ait EPD belgeleri otomatik olarak PDF formatında kaydedilebilmektedir. One Click LCA dijital aracı ile elde edilen YDD sonuç verileri, listeler dışında çeşitli grafiksel gösterimlerle de ifade edilebilir. Grafikler, tek bir tasarımın verilerini veya birden fazla tasarımın karşılaştırmasını içerebilir. Grafikler, küresel ısınma, asitleşme gibi çeşitli etki kategorilerinde elde edilebilirken JPEG, PDF, PNG ve Excel dosya formatlarında kaydedilebilir. Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de One Click LCA ile elde edilebilen örnek grafikler görülmektedir.



Şekil 5.20 Betonarme strüktür için grafik örneği-yapı ürünlerinin yaşam döngüsü etkileri



Şekil 5.21 Betonarme strüktür için grafik örneği-küresel ısınma potansiyeli, yaşam döngüsü süreçleri



Şekil 5.22 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için karşılaştırmalı grafik örneği-etki kategorileri

EK B'de betonarme, çelik ve çağdaş strüktür seçeneklerine ait detaylı sonuç raporları ile bu seçeneklerin karşılaştırmalı raporu görülmektedir. Eklerdeki strüktür tiplerine göre karşılaştırmalı olan raporlar EN-15978 kapsamındaki tüm etki kategorilerine göre, tekil raporlar ise One Click LCA aracından tüm kategorilerde elde edilebilmesine rağmen tez kapsamında yalnızca küresel ısınma kategorisine göre listelenmektedir.

5.2.2.3 One Click LCA'nın Genel Değerlendirmesi

YDD bağlamında ürün seçiminde One Click LCA dijital aracının kullanımı doğrultusunda gerçekleştirilen irdelemede, aracın güçlü ve zayıf özelliklerine dair çeşitli değerlendirme sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar, One Click LCA aracının yapı ürünü seçimi ile ilgili özellikleri, tasarım süreçlerine uygunluk ile ilgili özellikleri, yazılımsal özellikleri, veritabanı özellikleri, ekonomik özellikleri, YDD hesaplama süreci ile ilgili özellikleri, kullanıcı odaklı özellikleri ve sonuç verileri ile ilgili özellikleri başlıklarınca sınıflandırılmıştır.

Yapı Ürünü Seçim Süreci ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Yalnızca Revit modelleme bilgisi dijital aracın kullanımı için yeterlidir, ürün seçimi için ek bir program bilgisi için süre ve iş gücüne gerek olmamaktadır. Bu sayede uzman olmayan kullanıcılar tarafından pratik bir biçimde kullanılabilir.
  - Yapı ürünü seçiminde dijital araç, karar vericiler için bir yönlendirici olmak adına proje konumuna göre varsa yerel ürünler arasından yoksa genel yapı ürünleri içerisinden otomatik ürün seçimi yapar. Bu seçimi Revit modelinden elde ettiği familya ve yapı ürünü bilgileri doğrultusunda gerçekleştirir. Otomatik olarak seçilen ürün, dilenirse kullanıcı tarafından değiştirilebilir veya düzenlenebilir. Bu durum, ürün seçimi yapacak olan karar verici için bir yol gösterici olarak değerlendirilebilir.
  - Kullanıcının kendisi tarafından el ile ürün seçimini kolaylaştırmak için çeşitli filtreler bulundurmaktadır. Ürünler ülkelere, üreticilere, fiziksel ve çevresel etki özelliklerine göre filtrelenebilir. Bu sayede karar vericiler tarafından istenilen doğrultuda ürünler pratik bir biçimde bulunabilir.

- Belirli bir ülke veya üretici bilgisine erişilemiyorsa veritabanından generic (genel) olarak ifade edilen, One Click LCA tarafından oluşturulan ve tüm ülkelerde ortalama verilere sahip olan ürünler arasından seçim işlemi yapılabilir.

- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Aracın öğrenci sürümü, ürün seçiminde ticari sürümündeki tüm özellikleri barındırmamaktadır.

Tasarım Süreçlerine Uygunluk ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Türkiye'den üretici ve yapı ürünlerinin dijital araçta yer alması, tasarım kararlarının kesinleştiği ileri tasarım süreçlerinde aracın kullanılabilmesini mümkün hale getirmiştir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Dijital aracın kullanımı, elektrik tüketimi, su tüketimi, taşımacılık gibi farklı veri gerektirdiğinden erken tasarım süreçleri için pratik olmayabilir.

Yazılımsal Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Dijital araç, pek çok farklı yazılıma entegre edilebilir. Bu sayede karar vericilerin araca erişimi kolaylaşırken yazılımın yaygınlaşması sağlanmaktadır.
  - Farklı tasarımların YDD sonuçları ve yapı ürünü seçimleri, tek bir arayüzde görülebilmektedir.
  - Araçta seçilen yapı ürünleri ile ilgili EPD belgeleri, otomatik olarak One Click LCA web arayüzünden indirilebilir. Bu sayede ilgili ürün beyannamelerini bulmak için ekstra bir iş gücü harcanmaz.
  - Araç ile belirli bir tasarımda gerçekleştirilen yapı ürünü seçimleri, direkt olarak başka bir tasarıma aktarılabilir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - One Click LCA Revit eklentisiyle aracın web arayüzü eş zamanlı olarak çalışmamaktadır. Revit modelinde yapılan her değişim sonrası eklenti yeniden çalıştırılıp veriler web arayüzüne yeniden aktarılmak

durumundadır. Bu durum maliyet, iş gücü, süre ve yazılımsal açısından olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.

- Dijital araç, Revit'e entegre çalışır ancak öğrenci sürümünde, Revit arayüzünden çıkmadan detaylı filtrelemelerle yapı ürünü seçimi yapmak ve seçilen yapı ürünlerine ait YDD sonuçlarını görmek mümkün değildir. Yapı ürünü seçimi ve seçilen ürünlerin çevresel performanslarını ifade eden sonuç raporlarını elde etmek için aracın web sitesine geçiş yapılması gerekmektedir. Bu durum maliyet, iş gücü ve süre açısından olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.
- Araç farklı tasarım seçeneklerini tek bir Revit dosyası içerisinden değerlendiremez. Karar vericilerin farklı tasarımları karşılaştırmaları için farklı Revit dosyalarında modellemeler yapıp bu modellerden ayrı ayrı ürün metrajlarını One Click LCA eklentisine aktarmaları gerekmektedir.

Veritabanı Özellikleri

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Araç, çok sayıda ülkenin farklı firma ve üreticilerine ait EPD'li veya genel yapı ürünlerini barındırmaktadır.
  - Dijital aracın veritabanında Türkiye'den üreticiler ve yapı ürünleri bulunmaktadır. Bu sayede gerçek üreticiler arasından ürün seçimi yapılarak kesin YDD sonuçları elde edilmiş olur.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Türkiye'nin kendine özel bir yapı ürünü veritabanı bulunmadığından, dijital araçta seçim için çok fazla Türk üretici ve ürün seçeneği bulunmamaktadır.
  - Veritabanına kullanıcının kendisi tarafından el ile yapı ürünü verisi girişi mümkün değildir. Yapı ürünü seçimi yalnızca OneClick LCA veritabanındaki ürünler arasından yapılabilmektedir.

Ekonomik Özellikler

- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Aracın öğrenci sürümü ücretsiz, ticari sürümü ise paralıdır. Öğrenci sürümü, ticari sürümündeki tüm özellikleri barındırmamaktadır.

YDD Hesaplama Süreci ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Revit modelinden aktarılan yapı ürünü metrajları, dilenirse kullanıcı gereksinmeleri doğrultusunda aracın arayüzünden düzenlenip değiştirilebilir.
  - Metraj verilerinde hacim, alan, kg şeklinde birim değişimi gerçekleştirilebilir.
  - Biyojenik karbon verileri ayrı bir sonuç başlığında elde edilebilir.
  - Elektrik ve su tüketim verileri düzenlenebilmektedir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Betonarme strüktür için çelik donatı hesabını araç kendi içerisinde gerçekleştirememektedir. Bu durum, aracın tasarımın erken süreçlerinde kullanımı için bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.

Kullanıcı Odaklı Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Dijital aracın Revit'e entegre olması ve Revit modelinden yapı ürünü, metraj gibi bilgileri otomatik elde edebilmesi kullanıcı açısından pratiklik sağlar.
  - Dijital araçta yapı ürünü seçiminden önce, seçilebilecek ürün seçeneklerinin çevresel etkileri farklı renklerle ifade edilir. Bu sayede karar vericilerin çevresel performansı yüksek olan ürünlerden seçim yapmaları kolaylaşır.
  - Yapı ürünleri ile ilgili karar vericiler tarafından henüz net karar verilmemiş olan verilerin düzenlenmesi, tasarımın ilerleyen süreçlerinde gerçekleştirilebilir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Dijital aracın kullanımı ve ürün seçim süreçleri ile ilgili net bir kullanıcı kılavuzu bulunmamaktadır. Dolayısıyla karar vericiler, dijital aracı öğrenmek için belli bir süre harcarlar. Bu durum iş gücü ve maliyet açısından bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.

- Elektrik ve su tüketim verilerinin kullanıcı tarafından el ile hesaplanması veya bulunması gerekmektedir. Bu durum aracın uzman olmayan tarafından kullanımı açısından dezavantaj oluşturur.
- Sonuç raporları yalnızca One Click LCA'da seçilen yapı ürünü isimleriyle elde edilir. Seçilen ürünlerin Revit'te kullanılan familya ve ürün isimleri gözlemlenememektedir.

Sonuç Verileri ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Sonuç raporları Excel, PDF, JPEG ve PNG formatlarında otomatik elde edilebilir. Otomatik olarak sonuçları elde etmek karar vericilere süre açısından avantaj sağlar.
  - YDD sonuç raporları, ürünlerin veya yapının tümü üzerinden ayrı ayrı ya da karşılaştırmalı şekilde elde edilebilmektedir. Bu sayede hangi ürünün veya yapının çevresel etkilerinin ne seviyede olduğu kolaylıkla gözlemlenebilir.
  - Yapı ürünlerinin seçilip YDD'nin tamamlanmasından sonra seçilen yapı ürünleri yerine eğer varsa seçilebilecek daha sürdürülebilir seçenekler listelenebilmektedir.
  - Sonuç grafik tipleri, yaşam döngüsü süreçlerine göre veya farklı etki kategorilerine göre düzenlenebilir.
  - Biyojenik karbon verileri ayrı bir sonuç başlığında elde edilebilir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Sonuç raporu PDF olarak elde edilebilir ancak raporda dijital aracın değerlendirme yöntemi, ürünler için envanter analizi gibi bilgileri yer almamaktadır.
  - Sonuç raporları yalnızca One Click LCA'da seçilen yapı ürünü isimleriyle elde edilir. Seçilen ürünlerin Revit'te kullanılan familya ve ürün isimleri gözlemlenememektedir.
  - Elde edilen YDD sonuç verileriyle alakalı herhangi bir açıklama bulunmamaktadır. Sayılardan ibaret olan sonuçlar, profesyonel olmayan kullanıcılar için karmaşaya neden olabilir.
  - Rapor çıktısı yeterince detaylı ve net değildir.

Dijital Aracın Genel Değerlendirmesi

One Click LCA dijital aracı, YDD süreçlerinde uzman olan veya olmayan karar vericilerin kolaylıkla çevresel performansı yüksek ürünlerin seçimini yaparak çevreye ve insan sağlığına katkı sağlamalarına olanak tanır. Ayrıca çevresel performansı yüksek olan ürünlerin seçilmesini teşvik ederek sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Türkiye verilerinin de yer aldığı dijital araç, Revit'e tamamen entegre olmaması olumsuzluğu dışında YDD bağlamında yapı ürünü seçiminde pratik, sistemli ve YDD yöntemine uygun olarak değerlendirilmiştir.

5.2.3 Bombyx Dijital Tasarım Aracı

Bombyx, bir Rhinoceros 3D eklentisi (plug-in) olan Grasshopper'a entegre olarak tasarlanan bir yaşam döngüsü değerlendirmesi dijital aracıdır. Parametrik bir araç olan Bombyx, açık kaynak kodlu olup herkesin kullanım, katkısı ve düzenlemesine açıktır (Hollberg vd., 2020). Tablo 5.8'de Bombyx aracının yazılımsal (program arayüzü, uyumlu olduğu işletim sistemi vb.), veritabanı, ekonomik (lisans tipleri), YDD hesaplama yöntemi (değerlendirilen yapı ve proje tipleri, etki kategorileri vb.) ile ilgili genel özellikleri görülmektedir.

Tablo 5.8 Bombyx dijital aracı genel özellikleri

Bombyx	
Geliştirici, Ülke	ETH Zürih, İsviçre
Versiyon	2.0.5
Web Sitesi	www.food4rhino.com/en/app/bombyx
Lisans Tipleri	Ücretsiz
Program Arayüzü	Rhinoceros - Grasshopper Arayüzü
Uyumlu Olduğu İşletim Sistemi	Windows/Mac
Veritabanları	KBOB Ökobilanzdaten (Coordination Conference of Public Building Owners–Kamu Bina Sahiplerinin Koordinasyon Konferansı)
Veritabanı Konumları	İsviçre
Yöntem	Eco-points (UBP)

Tablo 5.8 Bombyx dijital aracı genel özellikleri (devamı)

Bombyx	
Kabul Edilen Standartlar	KBOB EN 15978 (enerji hesaplamaları için) SIA 380/1 (enerji hesaplamaları için) e-BKP-H SN 506 511 (maliyet analizi için) SIA 2032 (yapı ömrü için) UBP (İsviçre etki göstergeleri)
Sertifika Sistemleri ile Uyum	-
Değerlendirilen Yapı Tipleri	Değerlendirilen yapı tipleri için özel seçenekler bulunmamaktadır. Tüm yapı tipleri değerlendirilebilir.
Değerlendirilen Proje Tipleri	Değerlendirilen proje tipleri için özel seçenekler bulunmamaktadır. Tüm proje tipleri değerlendirilebilir.
Projenin Değerlendirme Süreçleri	Projenin değerlendirme süreçleri için özel seçenekler bulunmamaktadır. Projenin tüm süreçlerıi için değerlendirme gerçekleştirilebilir.
Çalışma Kapsamı Seçenekleri	Tek Bir Yapının Değerlendirmesi Birden Fazla Yapının Karşılaştırması
Taşıyıcı Tipleri	Taşıyıcı tipleri için özel seçenekler bulunmamaktadır. Tüm taşıyıcı tipleri değerlendirilebilir.
Değerlendirilen Yapı Elemanları	Değerlendirilen yapı elemanları için özel seçenekler bulunmamaktadır. Tüm yapı elemanları değerlendirilebilir.
Değerlendirilen YDD Süreçleri	A1-A3, B4- B6 (opsiyonel), C3-C4
Etki Kategorileri	- Küresel Isınma Potansiyeli - Asitleşme Potansiyeli - Ozon Tabakasının İncelme Potansiyeli - Kanserojen Potansiyeli - Östrojen Potansiyeli - Biyokonsantrasyon Potansiyeli - Etki Verimliliği - Birincil Enerji - Biyolojik Çeşitlilik Zarar Potansiyeli - Kaynak Tükenmesi - Radyotoksisite
Ulaşım Verileri	Düzenlenebilir
Enerji Tüketim Verileri	Düzenlenebilir
Su Tüketim Verileri	Düzenlenemez
Yapı Ömrü	0 – 100 yıl

Bombyx aracında yapının birincil enerji talebi ile çevresel etki verileri birleştirilir. Araç hesaplamalarında, yapının operasyonel enerji kullanımından kaynaklanan operasyonel etkilerini (OE–operational impact–I_o) (B6 süreci) ve üretimden, yapının kullanım ömrünün sona ermesinden ve yapı bileşenlerinin değişim süreçlerinden kaynaklanan gömülü etki (GE – embodied impact - I_E) (A1-A3, C3, C4 ve B4 süreçleri) verilerini kullanır. Yaşam döngüsü etkisi (YDE–life cycle impact–I_{LC}), OE ve GE' nin toplamıdır (Basic vd., 2019).

Araçtaki YDD hesaplamaları Ecological Scarcity (Ecopoints-UBP, Ekolojik Kıtlık) yöntemiyle gerçekleştirilir. Bu yöntemde ecopoints, temel olarak kirletici emisyonları ve kaynak çıkarma faaliyetlerinin çevresel etkilerinin birim miktar başına oranlarını ifade eder. İsviçre ve uluslararası politikalar tarafından desteklenen Eco-points yöntemi, ISO 14044'e dayanır (Frischknecht ve Büsser Knöpfel, 2013). Eco-points ile yapıdaki tüm ürünlerin Tablo 5.16'daki etki kategorilerince değerlendirmeleri yapılır. Araçta genel anlamda KBOB veritabanından seçilen yapı ürünlerinin Eco-points parametreleri bağlamındaki değerlendirmeleri ile YDD sonuçlarını ifade eden gömülü etki ve operasyonel etki verileri elde edilir.

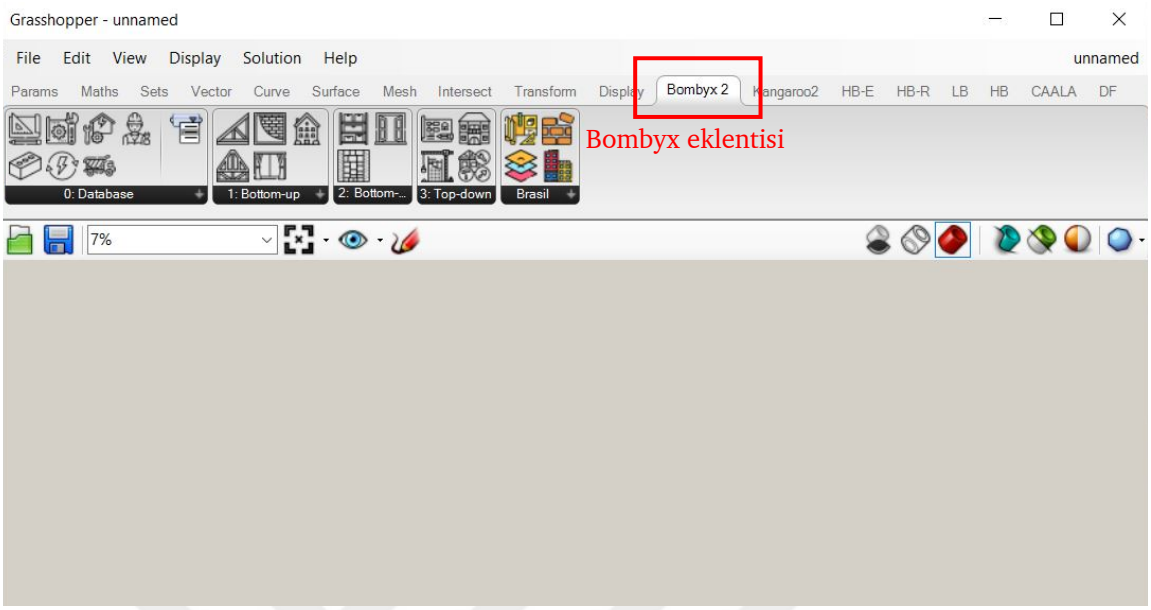
Birlikte çalışabilirlik bağlamında Bombyx, yalnızca Rhinoceros hesaplamalı dijital aracındaki Grasshopper ile entegre edilebilen bir araçtır. Bu bağlamda tez çalışması kapsamında Bombyx- Rhinoceros/Grasshopper entegrasyonu ile gerçekleştirilen YDD bağlamındaki ürün seçim süreçleri irdelenmektedir.

5.2.3.1 Bombyx'in Kullanımı ve Yapı Ürünü Seçimi

Bombyx genel olarak, bir yapının Rhinoceros modelindeki yapı elemanlarına ait yüzey alanlarının Bombyx parametreleri ile Grasshopper'a aktarılması, alanları aktarılan yapı elemanları için Bombyx veritabanındaki yapı ürünleri arasından seçim yapılması ve YDD sonuçlarının elde edilmesi üzerine şekillenmektedir.

Bombyx aracı ile YDD bağlamında ürün seçimi için öncelikle Revit'te oluşturulan örnek konut yapısının üç boyutlu modelleri Rhinoceros'a aktarılır. Ardından Bombyx dijital aracı, Food4Rhino web sitesinden indirilip Rhinoceros dijital aracındaki Grasshopper'ın eklentiler kısmına yüklenir. İlgili eklenti, Grasshopper aracının üst çubuk menüsünde Bombyx adıyla yer almaktadır (Şekil 5.23).

İrdelemeler, örnek yapının betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

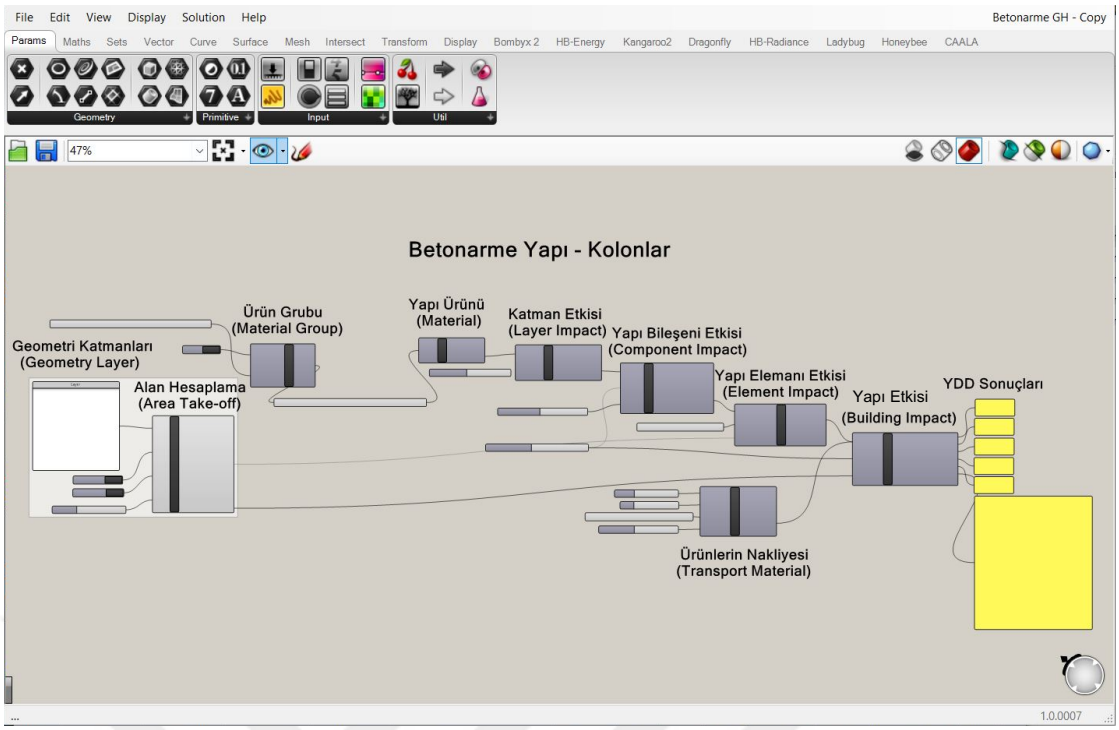


Şekil 5.23 Grasshopper arayüzü ve Bombyx eklentisi

Bombyx dijital aracı, algoritmalar üzerinden YDD hesaplamalarını gerçekleştirir. Bu bağlamda Bombyx'in kullanılabilmesi için öncelikle Food4Rhino web sitesinden aracın geliştiricileri tarafından hazırlanan örnek algoritmalar elde edilmiştir. Algoritmalar, bileşenler ve bu bileşenleri birbirine bağlayan ağlar ile oluşturulur. YDD hesaplamaları için geliştirilen algoritmanın temel bileşenleri;

- Geometri katmanları (geometry layer) oluşturma,
- Alan hesaplama (area take-off),
- Yapı ürünü grubu (material group) seçimi,
- Yapı ürünü (material) seçimi,
- Katman etkisi (layer impact) hesaplama,
- Yapı bileşeni etkisi (component impact) hesaplama,
- Yapı elemanı etkisi (element impact) hesaplama,
- Yapı etkisi (building impact) hesaplama,
- YDD sonuçlarıdır.

Şekil 5.24'te Bombyx aracının bileşenleri ve bu bileşenleri birbirine bağlayan ağlardan oluşan hesaplama algoritması, örnek konut yapısının betonarme strüktür seçeneği kolonları örneği üzerinden görülmektedir.

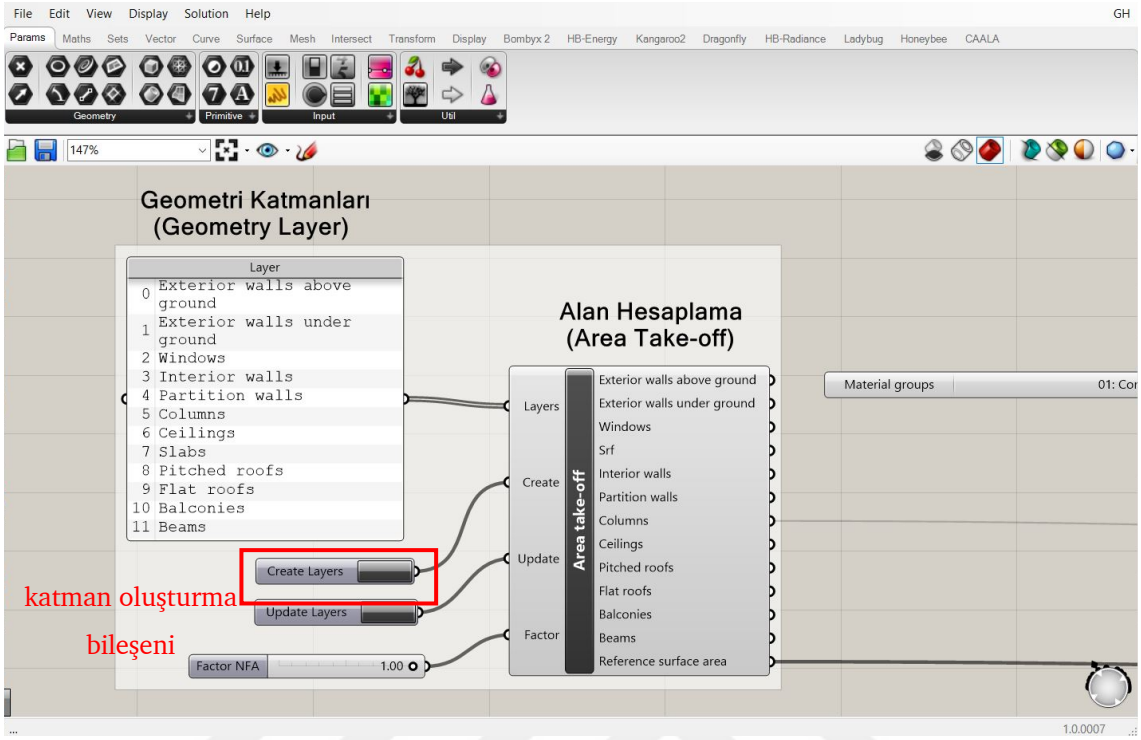


Şekil 5.24 Betonarme strüktürün kolonları için Bombyx aracı ile geliştirilen algoritmanın Grasshopper arayüzündeki görünümü

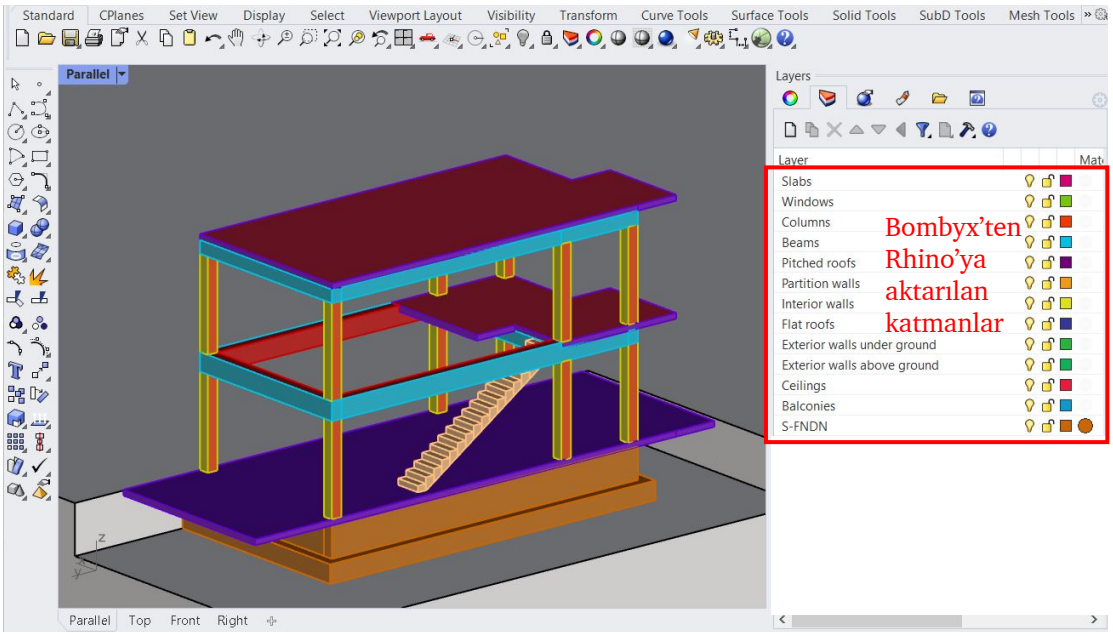
Bombyx dijital aracı, YDD hesaplamalarını Rhino geometrisindeki yapı elemanlarının yüzey alanları ve kalınlıkları (boyutları) doğrultusunda gerçekleştirir. Bu bağlamda hesaplamaların yapılabilmesi için geliştirilen algoritmada, öncelikle değerlendirilecek olan modele ait yapı elemanlarının yüzey alanları ve yapının net taban alanı bilgilerinin Rhino modelinden elde edilmesi gerekir. Bunun için Grasshopper'da örnek algoritmadan elde edilen 'geometri katmanları (geometry layer)' ve 'alan hesaplama (area take-off)' bileşenleri kullanılır. Geometri katmanları bileşeninde dış duvarlar, iç duvarlar, pencereler, çatı, balkonlar, kolonlar, kirişler ve döşemeler yer almaktadır (Şekil 5.25). Çalışmada strüktür seçenekleri değerlendirildiğinden yalnızca kolonlar, kirişler ve 1. ve 2. kat döşemeleri hesaba katılmıştır.

Bir sonraki adımda Grasshopper'da oluşturulan geometri katmanları, katman oluşturma bileşeni ile Rhinoceros arayüzüne aktarılır (Şekil 5.26). Üç boyutlu Rhino modelini oluşturan katmanların, Bomybx katmanlarıyla eşleştirilmesi için ilgili yüzey alanları seçilir. Örneğin bir kirişi oluşturan 6 yüzey varsa bunun yalnızca bir yüzeyi seçilir. Ardından Bombyx algoritmasında ilgili yüzey için

kalınlık bilgisi girilerek hesaplamalar gerçekleştirilir. Yüzey alanları elde edildikten sonra sıra yapı ürünü seçimlerine gelir.



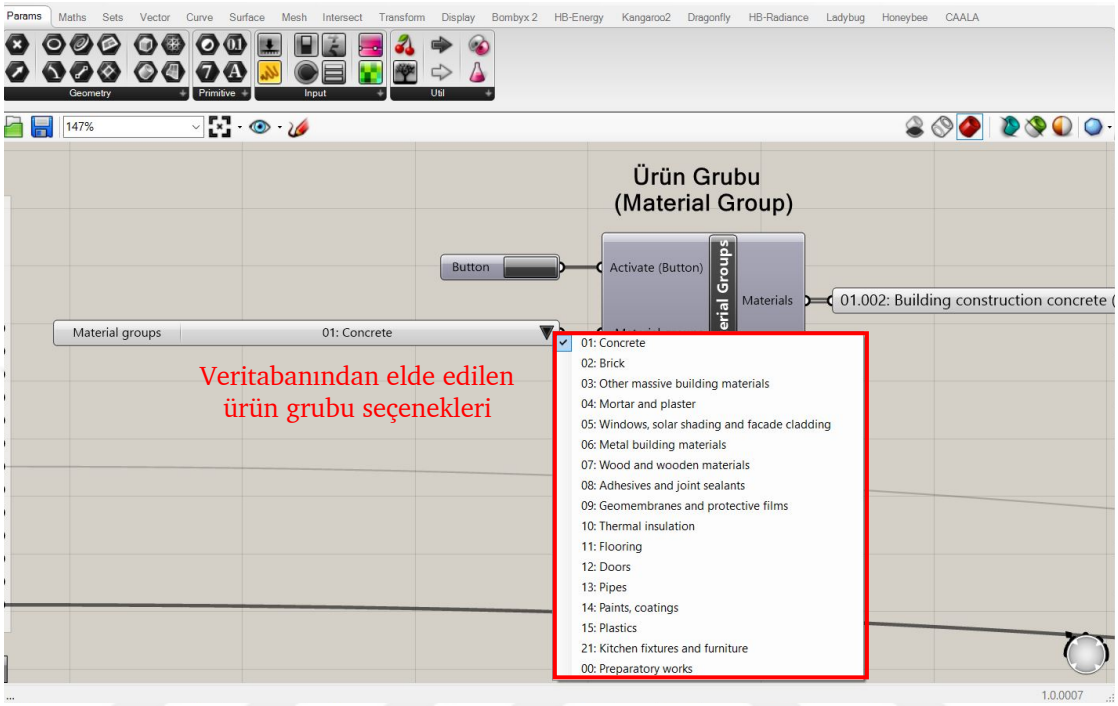
Şekil 5.25 Grasshopper geometri katmanları, alan hesaplama ve katman oluşturma bileşenleri



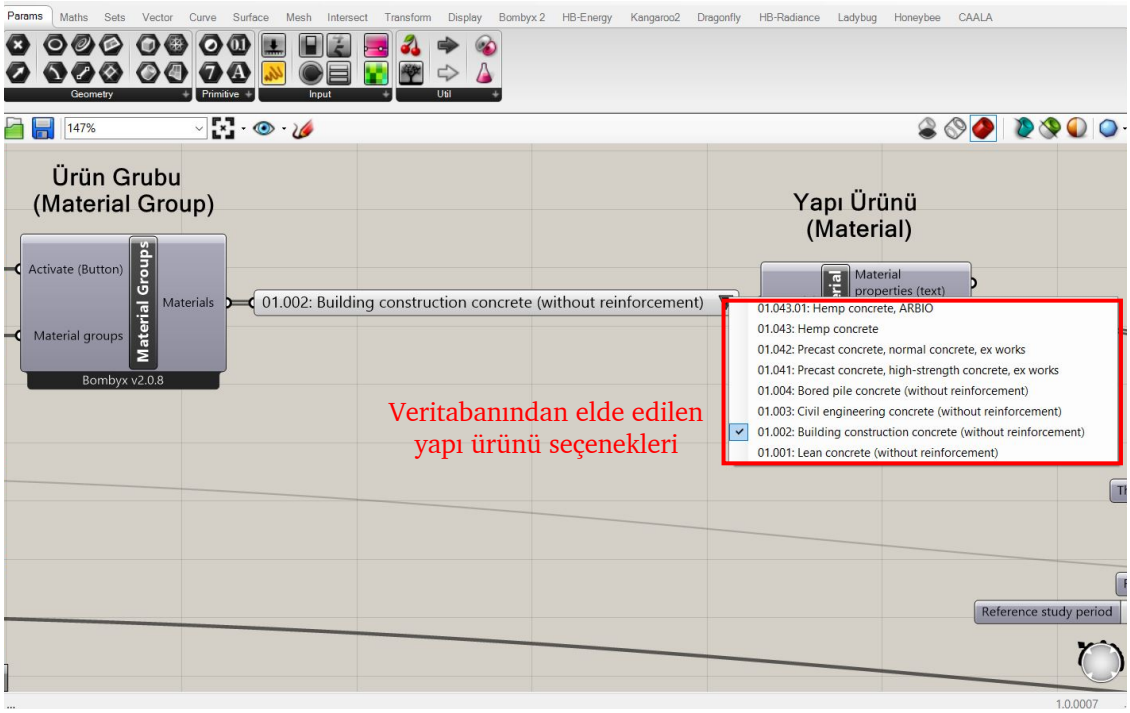
Şekil 5.26 Bombyx'ten Rhinoceros arayüzüne aktarılan katmanlar

Yapı ürünlerinin seçimi, Bombyx'te oluşturulan 'ürün grubu (material group)' ve 'yapı ürünü (material)' bileşenleri ile gerçekleştirilir. Bileşenlerde, aracın

veritabanındaki ürün grubu ve yapı ürünü seçenekleri listelenir. Karar vericilerin gereksinmeleri doğrultusunda seçenekler arasından ürün seçimi gerçekleştirilmiş olur. Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de örnek konut yapısının betonarme strüktür seçeneği için gerçekleştirilen yapı ürünü seçim süreci görülmektedir.

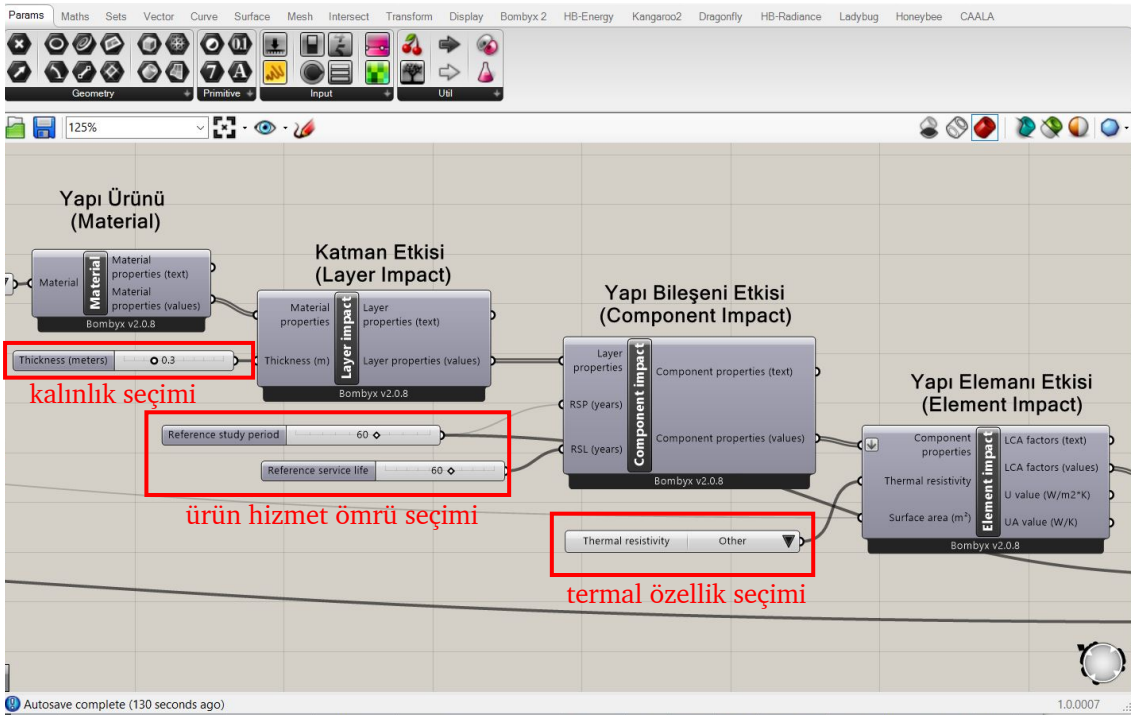


Şekil 5.27 Betonarme strüktür kolonları için seçilebilecek ürün grupları



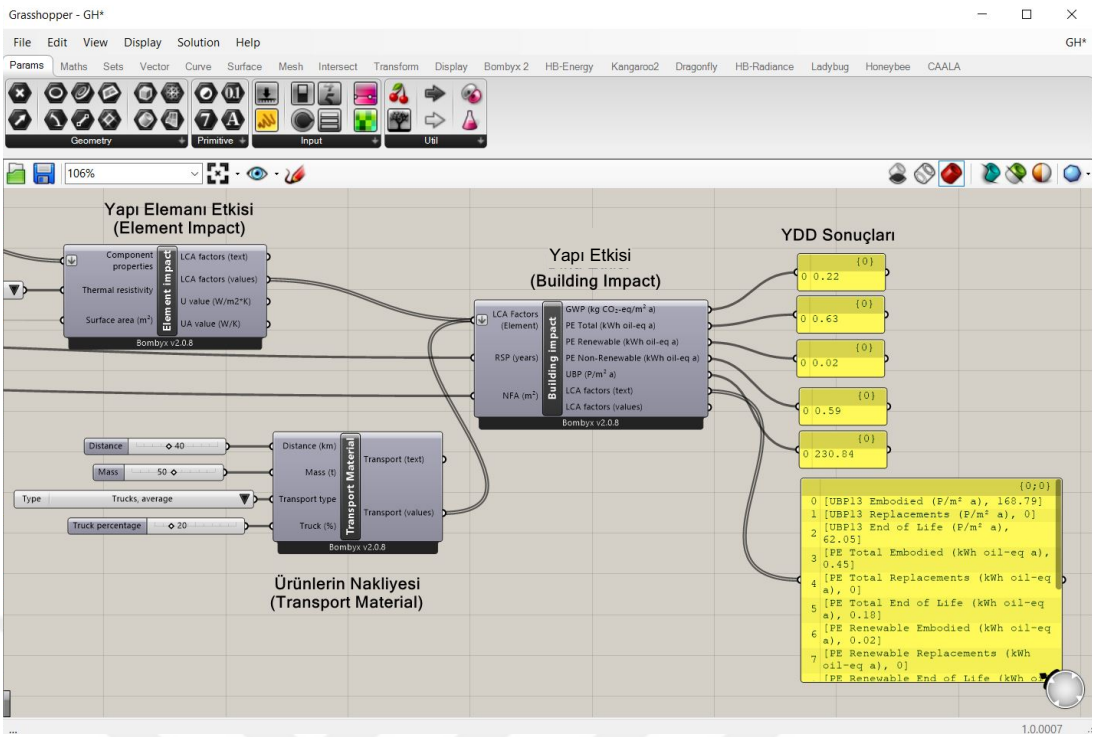
Şekil 5.28 Betonarme strüktür kolonları için seçilebilecek yapı ürünleri

Ürün seçimleri gerçekleştirildikten sonra, ‘katman etkisi (layer impact)’, ‘yapı bileşeni etkisi (component impact)’ ve ‘yapı elemanı etkisi (element impact)’ bileşenleri ve bileşenler arasındaki ağ bağlantıları düzenlenir (Şekil 5.29). Bu bileşenler altında seçilen yapı ürünlerine ait kalınlık bilgisi, referans hizmet ömrü ve termal özellikler ile ilgili seçimler yapılabilir.



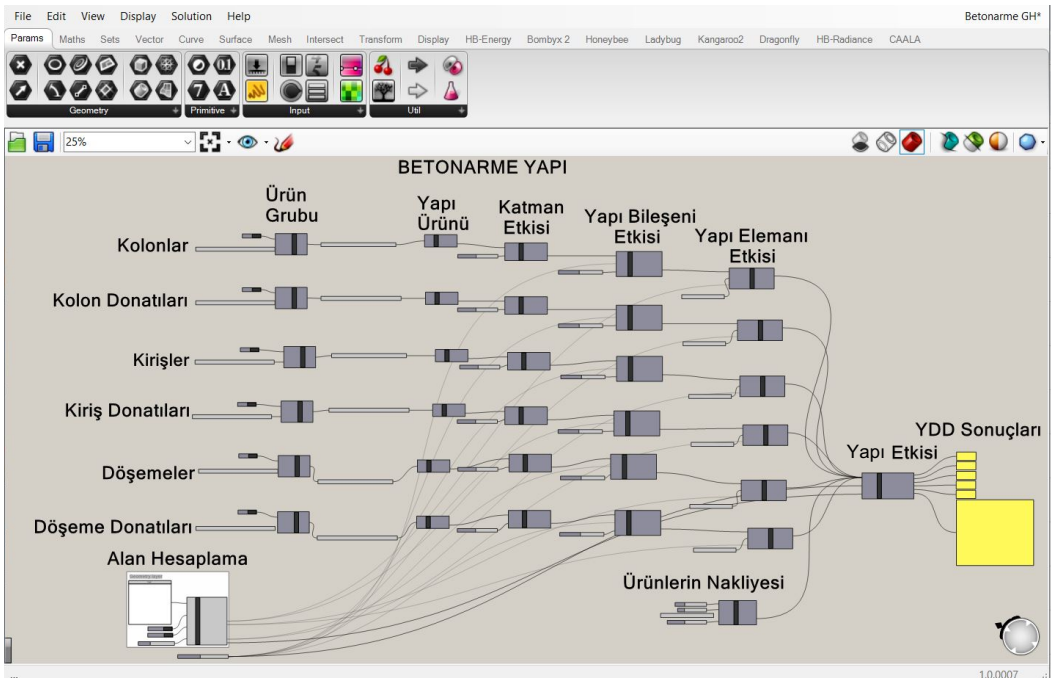
Şekil 5.29 Betonarme strüktür kolonları için yapı ürünü, katman etkisi, yapı bileşeni etkisi ve yapı elemanı etkisi bileşenlerinin ilişkileri

Yapı elemanı etkisi bileşeninden sonra artık genel değerlendirmelerin yapıldığı ‘yapı etkisi (building impact)’ bileşenine geçilir. Bu bileşen, tüm yapı elemanı etkisi bileşenlerinin toplandığı adımdır. Örneğin betonarme strüktür için kolon, kiriş ve döşeme elemanlarının ürün seçimleri doğrultusunda elde edilen tüm veriler, bu bileşende toplanır ve hesaplamalar ile yapıya ait veriler elde edilir. Yapı etkisi verilerine dilenirse yapı ürünleriyle ilgili ‘nakliye verileri (transport material)’ de eklenebilir. Sonuç olarak düzenlenen tüm algoritma verilerinin bağlantıları ve ilişkileri doğrultusunda YDD sonuçları elde edilir. Şekil 5.30’da örnek yapının betonarme strüktür seçeneği kolonları için yapı etkisi, ürünlerin nakliyesi bileşenleri ve algoritma ile elde edilen YDD sonuçları görülmektedir.



Şekil 5.30 Betonarme strüktür kolonları için yapı etkisi, ürünlerin nakliyesi bileşenleri ve algoritma ile elde edilen YDD sonuçları

Çalışma kapsamında belirtilen tüm algoritma adımları, örnek konut yapısının betonarme, çelik ve çağdaş ahşap seçeneklerine uygulanmıştır. Şekil 5.31'de betonarme strüktüre ait oluşturulan örnek YDD hesaplama algoritması görülmektedir.



Şekil 5.31 Betonarme strüktür seçeneği için oluşturulan YDD algoritması

Bombyx aracı ile betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için aracın veritabanından seçilen yapı ürünleri Tablo 5.9'da görülmektedir. Betonarme yapı için Bombyx aracı da One Click LCA gibi donatı hesabı yapmamaktadır. Bu sebeple donatı metrajları, Tally aracında otomatik hesaplanan değerlerce kabul edilmiştir. Bu değerler döşeme için 87,24 kg/m^3 ve kolon-kirişler için 219,8 kg/m^3'tür. Ayrıca çelik profillerin metraj hesabında, Bombyx aracı alanlar üzerinden gittiğinden profillerin yüzey alanları ve et kalınlıklarının çarpımı ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.9 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri için Bombyx'ten seçilen yapı ürünleri

Tip	Ürün Kaynağı	Miktar	Açıklama
BETONARME STRÜKTÜR	Concrete-Building construction concrete (without reinforcement)	2,7 m^3	Kolonlar-hazır beton karışımı
	Metal building materials-Reinforced	593,46 kg	Kolonlar-çelik donatı
	Concrete-Building construction concrete (without reinforcement)	7,6 m^3	Kirişler-hazır beton karışımı
	Metal building materials-Reinforced	1670,48kg	Kirişler-çelik donatı
	Concrete-Building construction concrete (without reinforcement)	69,9 m^2	Döşemeler-hazır beton karışımı
	Metal building materials-Reinforced	914,8 kg	Döşemeler-çelik donatı
ÇELİK STRÜKTÜR	Metal building materials-Steel profile	0,133 m^3	Kolonlar-SHS profil
	Metal building materials-Steel profile	0,411 m^3	Kirişler-IPN profil
	Metal building materials-Steel profile	0,279 m^3	Kirişler-IPN profil
	Metal building materials-Steel profile	0,219 m^3	Kirişler-IPN profil
	Concrete-Building construction concrete (without reinforcement)	69,9 m^2	Döşemeler-hazır beton karışımı
	Metal building materials-Reinforced steel	914,8 kg	Döşemeler-çelik donatı
ÇAĞDAŞ AHŞAP STRÜKTÜR	Wood and wooden materails-Glued laminated timber, UF-bound	3,12 m^3	Kolonlar-glulam
	Wood and wooden materails-Glued laminated timber, UF-bound	5,54 m^3	Kirişler-glulam
	3-layer solid wood panel, PVAc-bound	69,81 m^2	Döşemeler-clt (çapraz lamine ahşap)

5.2.3.2 Bombyx ile Elde Edilen Sonuç Verileri

Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürler için seçilen yapı ürünleri ve diğer verilerle birlikte Bombyx'te YDD sonuçlarına ulaşılmıştır (Tablo 5.10). Sonuç ile seçilen yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçlerindeki UBP 13 Ecopoints-gömülü etki, UBP 13 Ecopoints-kullanım sonu süreci, toplam gömülü birincil enerji, kullanım sonu süreci için toplam birincil enerji, yenilenebilir gömülü birincil enerji, yenilenemez gömülü birincil enerji, kullanım sonu süreci için yenilenemez birincil enerji, gömülü sera gazları, kullanım sonu sürecinde sera gazları ve küresel ısınma potansiyeli değerleri elde edilmiştir.

Tablo 5.10 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürlerin Bombyx'ten elde edilen YDD sonuçları

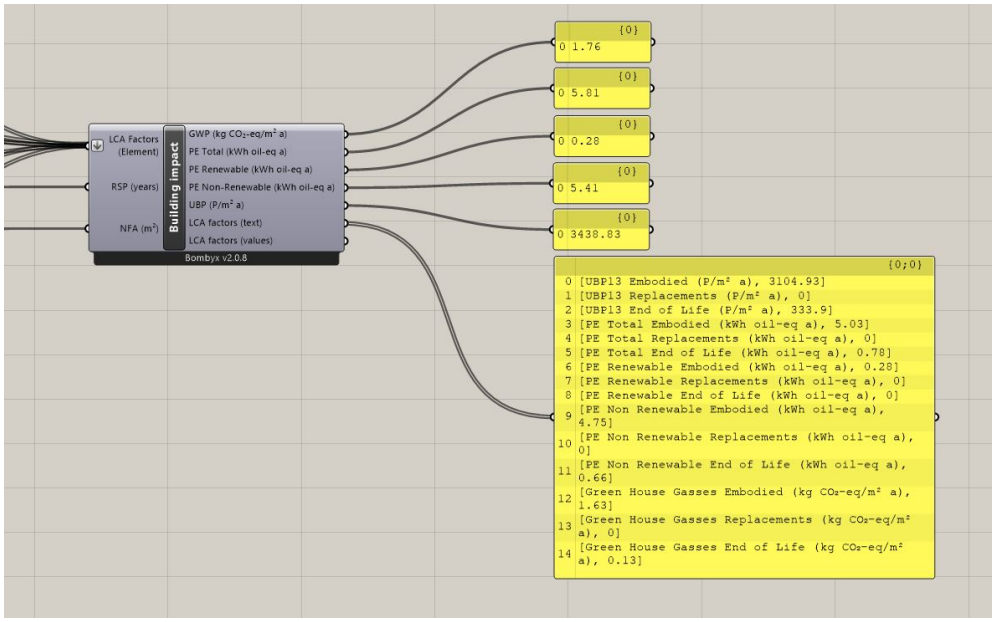
Tip	Kategoriler	Sonuç
BETONARME STRÜKTÜR	UBP Gömülü Etki (UBP/m^2 yıllık)	3104.93
	UBP Kullanım Sonu Süreci (UBP/m^2 yıllık)	333.9
	Toplam Gömülü Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	5.03
	Kullanım Sonu Süreci İçin Toplam Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	0.78
	Yenilenebilir Gömülü Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	0.28
	Yenilenemez Gömülü Birincil Enerji (kWh yakıt-edş. yıllık)	4.75
	Kullanım Sonu Süreci İçin Yenilenemez Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	0.66
	Gömülü Sera Gazları (kg CO_2–eşd. /m^2 yıllık)	1.63
	Kullanım sonu sürecinde sera gazları (kg CO_2–eşd. /m^2 yıllık)	0.13
	Küresel ısınma potansiyeli (GWP) (kg CO_2–eşd./m^2 yıllık)	1.76
ÇELİK STRÜKTÜR	UBP Gömülü Etki (UBP/m^2 yıllık)	4479.26
	UBP Kullanım Sonu Süreci (UBP/m^2 yıllık)	177.34
	Toplam Gömülü Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	14.44
	Kullanım Sonu Süreci İçin Toplam Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	0.44
	Yenilenebilir Gömülü Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	0.94
	Yenilenemez Gömülü Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	13.5
	Kullanım Sonu Süreci İçin Yenilenemez Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	0.38
	Gömülü Sera Gazları (kg CO_2–eşd./m^2 yıllık)	3.18
	Kullanım sonu sürecinde sera gazları (kg CO_2–eşd/m^2 yıllık)	0.07
	Küresel ısınma potansiyeli (GWP) (kg CO_2–eşd/m^2 yıllık)	3.25

Tablo 5.10 Betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürlerin Bombyx'ten elde edilen YDD sonuçları (devamı)

Tip	Kategoriler	Sonuç
ÇAĞDAŞ AHŞAP STRÜKTÜR	UBP Gömülü Etki (UBP/m^2 yıllık)	2454.86
	UBP Kullanım Sonu Süreci (UBP/m^2 yıllık)	200.13
	Toplam Gömülü Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	25.48
	Kullanım Sonu Süreci İçin Toplam Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	0.21
	Yenilenebilir Gömülü Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	19.69
	Yenilenemez Gömülü Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	5.78
	Kullanım Sonu Süreci İçin Yenilenemez Birincil Enerji (kWh yakıt-eşd. yıllık)	0.2
	Gömülü Sera Gazları (kg CO_2 –eşd/m^2 yıllık)	0.85
	Kullanım sonu sürecinde sera gazları (kg CO_2 –eşd/m^2 yıllık)	0.26
	Küresel ısınma potansiyeli (GWP) (kg CO_2 –eşd/m^2 yıllık)	1.11

Tez çalışması kapsamındaki betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktürler için One Click LCA'da seçilen yapı ürünleri doğrultusunda elde edilen YDD sonuçları incelendiğinde, çoğu etki kategorisi ve sürece göre çevresel etkileri en az olan strüktürün çağdaş ahşap, en fazla olan seçeneğin ise çelik olduğu görülmüştür.

Bombyx ile sonuç verileri yalnızca Grasshopper'da elde edilmekte olup PDF gibi formatlarda sonuçlar dışarı aktarılamamaktadır. Betonarme strüktür seçeneği YDD sonuç verilerinin Grasshopper'daki örnek grafiği Şekil 5.32'de görülmektedir.



Şekil 5.32 Betonarme strüktür seçeneğinin Grasshopper'daki sonuç grafiği

5.2.3.3 Bombyx'in Genel Değerlendirmesi

YDD bağlamında ürün seçiminde Bombyx dijital aracının kullanımı doğrultusunda gerçekleştirilen irdelemede, aracın güçlü ve zayıf özelliklerine dair çeşitli değerlendirme sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar, Bombyx aracının yapı ürünü seçim süreci ile ilgili özellikleri, tasarım süreçlerine uygunluk ile ilgili özellikleri, yazılımsal özellikleri, veritabanı özellikleri, ekonomik özellikleri, YDD hesaplama süreci ile ilgili özellikleri, kullanıcı odaklı özellikleri ve sonuç verileri ile ilgili özellikleri başlıklarınca sınıflandırılmıştır. Ardından araçla ilgili genel değerlendirme sonuçları elde edilmiştir.

Yapı Ürünü Seçim Süreci ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Dijital aracın Rhinoceros–Grasshopper'a entegre olması ve Rhino modelinden yapı elemanı metrajlarını seçim doğrultusunda elde edebilmesi kullanıcı açısından pratiklik sağlar.
  - Ürün seçim süreçleri ve değerlendirmeleri, araç içerisinden çıkmadan Grasshopper ortamında gerçekleştirilebilir. Bu durum kullanıcılara süre ve pratiklik açısıdan avantajlar sağlar.
  - Yapı ürünü seçimleri veya değişimleri doğrultusunda elde edilen değerlendirme sonuçları, anlık olarak araç içerisindeki parametrelerde gözlemlenebilir. Hızlı gözlem sayesinde ürün seçim süreçlerine ayrılan vakit azalmış olur.
  - Yapı ürünü seçimleri tasarımın herhangi bir sürecinde düzenlenebilir veya değiştirilebilir. Böylece işveren talepleri, karar verici kaynaklı herhangi bir hata veya tercihler doğrultusunda oluşabilecek ürün değişimleri, uygun bir şekilde tasarım sürecine entegre edilebilir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Dijital aracın kullanımı ve ürün seçimi için Rhino modelleme bilgisi dışından Grasshopper bilgisi de gerekmektedir. Bu durum dijital aracın kullanımını öğrenmek için belirli bir süre gerektirdiği, dolayısıyla da iş gücü ve maliyeti arttığı anlamına gelmektedir.

- Ürün seçimlerinde otomatik ürün eşleştirmesi mümkün değildir. Seçimin karar verici tarafından el ile gerçekleştirilmesi gerekir. Bu durum süre, maliyet ve iş gücü açısından bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.
- Seçilecek ürünler ile ilgili net üretici bilgisi, teknik özellikler gibi bilgiler elde edilememektedir.

Tasarım Süreçlerine Uygunluk ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Araç, tasarımın tüm süreçlerine entegre edilebilir ancak YDD hesaplamalarını yüzey alanları üzerinden gerçekleştirdiğinden yapıların daha çok erken tasarım süreçlerindeki YDD değerlendirmeleri ve ürün seçimleri için uygundur.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Araç, Türkiye'deki üreticilere ait yapı ürünleri barındırmadığından ürün seçiminde tasarımın erken süreçleri için uygun olup, ürün seçiminin netleşmesi gereken ileri süreçleri için uygun değildir.

Yazılımsal Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Açık kaynak kodlu oluşu sayesinde gereksinmeler doğrultusunda aracın hesaplama süreci ve yazılımı değiştirilip geliştirilebilir.
  - Parametrik bir araç olması sayesinde Rhino modelinde yapılan herhangi bir değişim, elde edilen sonuçlar üzerine kolaylıkla yansıtılmaktadır.
  - Araç farklı tasarım seçeneklerini tek bir Grasshopper dosyası içerisinden değerlendirebilir. Bu bağlamda araç, yapı ürünlerinin seçiminde karşılaştırmalar için dosya karmaşasını önler ve sistemli bir çalışma ortamı sağlar.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Rhinoceros Grasshopper dışında Revit vb. başka bir dijital araca entegre edilemez.

Veritabanı Özellikleri

- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:

- Veritabanında Türkiye'den üreticiler ve yapı ürünleri mevcut değildir. Bu bağlamda ürün seçiminde Bombyx veritabanından Türkiye'deki ürünlere benzer ürünler arasından seçimler yapılarak yaklaşık YDD sonuçları elde edilebilir fakat kesin değerlere ulaşılamaz.
- Araç, sisteminde yalnızca KBOB veritabanını barındırır. Bu veritabanı ürün seçimi için sınırlı sayıda ürün içermektedir. Bu bağlamda araç, depoladığı veriler açısından kısıtlıdır.
- Veritabanına kullanıcının kendisi tarafından el ile yapı ürünü verisi girişi mümkün değildir. Yapı ürünü seçimi yalnızca Bombyx veritabanındaki ürünler arasından yapılabilir

Ekonomik Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Ücretsiz bir araç olması ile ürün seçim süreçlerinde maliyet açısından olumlu olarak değerlendirilebilir.

YDD Hesaplama Süreci ile İlgili Özellikler

- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Hesaplamalar için Rhinoceros modeli dışında Grasshopper algoritmasının oluşturulması gereklidir. Bu durum süre açısından bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.
  - Metraj verileri otomatik olarak elde edilemez, hesaplama için ilgili alanların kullanıcı tarafından el ile seçimi gerekmektedir.
  - Araç ile yalnızca yüzey alanları ve bu alanlara atanan kalınlık değerleri üzerinden hesaplamalar gerçekleştirildiğinden yaklaşık YDD sonuçları elde edilebilir fakat kesin değerlere ulaşılamaz.
  - YDD hesaplamaları İsviçre standartları doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Bu durum, aracın Türkiye kullanımı için olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.
  - Elektrik ve su tüketim verileri düzenlenememektedir.
  - Betonarme strüktür için çelik donatı hesabını araç kendi içerisinde gerçekleştirememektedir. Bu durum, aracın tasarımın erken süreçlerinde kullanımı için bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.

- YDD sonuçlarının elde edilebilmesi için dijital araçta algoritma yapısının doğru kurgulanması gerekmektedir. Yanlış bir algoritma kurgusu, aracın çalışmasını ve karar vericilerin ürün seçimi yapabilmesini engeller.
- YDD sonuçları, yapı ürünü süreçleri ve etki kategorileri açısından net elde edilemez, toplam çevresel etkileri ifade eden UBP'ye göre sonuçlar elde edilir. Bu sebeple araç, ürün seçiminde net bir yöntem ortaya koymamamaktadır.

Kullanıcı Odaklı Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Açık kaynak kodlu bir yazılım olması sayesinde ürün seçiminde ve değerlendirmelerde kullanıcı gereksinmeleri doğrultusunda düzenlenebilir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:
  - Dijital aracın kullanımı ve ürün seçim süreçleri ile ilgili net bir kullanıcı kılavuzu bulunmamaktadır. Bu sebeple karar vericiler, dijital aracı öğrenmek için belli bir süre harcarlar. Bu durum iş gücü ve maliyet açısından bir olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.
  - Dijital araçta yapı ürünü seçiminden önce, seçilebilecek ürün seçeneklerinin çevresel etkileri ile ilgili bir ön gösterim yer almamaktadır. Çevresel etkiler yalnızca ürün seçimi sonrasında elde edilen sonuçlarda görülebilir. Bu durum karar vericilerin her seferinde yapı ürünü seçimini yapıp ardından sonuçları incelemelerine dolayısıyla süre açısından dezavantaja sebep olmaktadır.
  - Dijital araç, Grasshopper ve algoritma yapısının temelini bilmeyen kullanıcılar için karmaşık bir arayüze sahiptir.

Sonuç Verileri ile İlgili Özellikler

- Aracın Güçlü Bulunan Özellikleri:
  - Grasshopper'ın farklı özellikleri ile kullanıcı tarafından, gereksinmelere göre düzenlenebilen sonuç grafikleri elde edilebilmektedir.
- Aracın Zayıf Bulunan Özellikleri:

- Hesaplamaların gerçekleştirildiği etki kategorileri ve süreçlere göre ayrı YDD sonuçları görülememektedir. Bu durum, sonuçların net olarak anlaşılamamasına sebep olmaktadır.
- Araç ile gerçekleştirilen ürün seçimi ve YDD hesaplamaları doğrultusunda PDF veya Excel formatinda otomatik bir sonuç raporu elde etmek mümkün değildir.
- Yapı veya yapı ürünleri ile ilgili otomatik olarak karşılaştırmalı sonuç grafikleri elde edilememektedir.

Dijital Aracın Genel Değerlendirmesi

Bombyx dijital aracı, YDD süreçlerinde karar vericilerin çevresel performansı yüksek ürünlerin seçimini yaparak çevreye ve insan sağlığına katkı sağlamalarına olanak tanır. Bununla birlikte aracın kullanımı için ek bilgilere gerek olması, net bir değerlendirme ve ürün seçim sisteminin olmayışı, sonuç verilerinin net elde edilemeyişi ve Türkiye verilerinin dijital araçta olmaması gibi durumlar sebebiyle dijital araç, YDD bağlamında yapı ürünü seçiminde yeterli ve olumlu bulunmamıştır.

5.3 Tally, One Click LCA ve Bombyx Dijital Araçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında irdelenen Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital tasarım araçlarının YDD bağlamında ürün seçimi açısından benzer yönleri olduğu kadar birbirlerinden farklılıkları mevcuttur. Dijital araçların genel özellikleri doğrultusunda olumlu ve olumsuz karşılaştırması Tablo 5.11'de görülmektedir.

Tablo 5.11 YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının genel özelliklerinin karşılaştırması

YDD BAĞLAMINDA ÜRÜN SEÇİMİNDE DİJİTAL TASARIM ARAÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI			
Yapı Ürünü Seçim Süreci ile İlgili Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
Otomatik Ürün Seçimi ve Eşleştirmesi	X	√	X
Modelden Dijital Araca Otomatik Metraj Aktarımı	√	√	X
Seçilecek Yapı Ürünü Bilgilerine Ait Ön Gösterim	√	X	X

Tablo 5.11 YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının genel özelliklerinin karşılaştırması (devamı)

YDD BAĞLAMINDA ÜRÜN SEÇİMİNDE DİJİTAL TASARIM ARAÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI			
Yapı Ürünü Seçim Süreci ile İlgili Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
Ek Program Kullanımı veya Modelleme İhtiyacı	X	X	√
Seçilecek Yapı Ürününün Çevresel Performans Göstergesi	X	√	X
Model ve Dijital Aracın Eş Zamanlı Çalışması	√	X	√
Tasarım Süreçlerine Uygunluk ile İlgili Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
Tasarımın Erken Aşamalarına Uygunluk	√	X	√
Tasarımın İleri Aşamalarına Uygunluk	X	√	X
Yazılımsal Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
Birden Fazla Yazılıma Entegrasyon	X	√	X
Tek Arayüzde Kullanım	√	X	√
Yazılıma Kullanıcı Müdahalesi	X	X	√
Yapı Modeli ile Dijital Aracın Eş Zamanı Çalışması	√	X	√
Veritabanı Özellikleri	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
Birden Fazla Veritabanı Bulundurma	X	√	X
Veritabanında Türkiye'den Üretici veya Yapı Ürünü	X	√	X
Dijital Araca El ile Ürün Bilgisi Girişi	X	X	X
Ekonomik Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
Ücretsiz Sürüm (Öğrenci Sürümü Dışında)	X	X	√
YDD Hesaplama Süreci ile İlgili Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
TRACI Yöntemine Göre YDD Hesabı	√	√	X
Ecopoints Yöntemine Göre YDD Hesabı	X	X	√
Farklı Yapı ve Proje Tiplerini Değerlendirme	√	√	√
Projenin Farklı Süreçlerini Değerlendirme	√	√	√
Tek Bir Yapının Değerlendirmesi	√	√	√
Birden Fazla Yapının Karşılaştırması	√	√	√

Tablo 5.11 YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının genel özelliklerinin karşılaştırması (devamı)

YDD BAĞLAMINDA ÜRÜN SEÇİMİNDE DİJİTAL TASARIM ARAÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI			
YDD Hesaplama Süreci ile İlgili Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
Farklı Taşıyıcı Tiplerini Değerlendirme	√	√	√
Farklı Yapı Elemanlarını Değerlendirme	√	√	√
YDD Süreçlerinden A1, A2 ve A3'ün Değerlendirmesi	√	√	√
YDD Süreçlerinden A4'ün Değerlendirmesi	√	√	X
YDD Süreçlerinden A5'in Değerlendirmesi	√	√	X
YDD Süreçlerinden B1'in Değerlendirmesi	X	√	X
YDD Süreçlerinden B2'nin Değerlendirmesi	√	X	X
YDD Süreçlerinden B3'ün Değerlendirmesi	√	√	X
YDD Süreçlerinden B4, B5 ve B6'nın Değerlendirmesi	√	√	√
YDD Süreçlerinden B7'nin Değerlendirmesi	X	√	X
YDD Süreçlerinden C1'in Değerlendirmesi	X	√	X
YDD Süreçlerinden C2'nin Değerlendirmesi	√	√	X
YDD Süreçlerinden C3 ve C4'ün Değerlendirmesi	√	√	√
Küresel Isınma Potansiyeli Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	√	√	√
Asitleşme Potansiyeli Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	√	√	√
Ötrofikasyon Potansiyeli Etki Kategorisine Göre	√	√	X
Ozon Tabakasının İncelme Potansiyeli Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	√	√	X
Fotokimyasal Sis Oluşum Potansiyeli Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	√	√	X
Biyojenik Karbon Depolama Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	√	√	X
Birincil Enerji Talebi veya Ürünlerin Toplam Birincil Enerji Tüketim Potansiyeli Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	√	√	√
Yenilenebilir Enerji Talebi Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	√	X	X
Yenilenemez Enerji Talebi Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	√	X	X

Tablo 5.11 YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının genel özelliklerinin karşılaştırması (devamı)

YDD BAĞLAMINDA ÜRÜN SEÇİMİNDE DİJİTAL TASARIM ARAÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI			
YDD Hesaplama Süreci ile İlgili Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
Yenilenemez Enerji Talebi Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	√	X	X
Kanserojen Potansiyeli Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	X	X	√
Östrojen Potansiyeli Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	X	X	√
Biyokonsantrasyon Potansiyeli Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	X	X	√
Etki Verimliliği Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	X	X	√
Biyolojik Çeşitlilik Zarar Potansiyeli Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	X	X	√
Kaynak Tükenmesi Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	X	X	√
Radyotoksisite Etki Kategorisine Göre Değerlendirme	X	X	√
Otomatik Çelik Donatı Hesabı	√	X	X
Ulaşım Verilerinin Düzenlenebilmesi	√	√	√
Enerji Tüketim Verilerinin Düzenlenebilmesi	X	√	√
Su Tüketim Verilerinin Düzenlenebilmesi	X	√	X
Kullanıcı Odaklı Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
Aracın Kullanım Kılavuzu	X	X	X
Yapı Ürünü Seçimi Sırasında Ürünlerin Çevresel Performansları ile İlgili Ön Gösterimi	X	√	X
Sonuç Verileri ile İlgili Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
PDF veya Excel Formatında Otomatik YDD Sonuç Raporu	√	√	X
Seçilen Ürünlerle İlgili Karşılaştırmalı Sonuç Grafikleri	√	√	X
Seçilen Ürünlerin Envanter Analizi	√	X	X
Yaşam Döngüsü Süreçlerine Göre Ayrı YDD Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	√	X
Seçilen Yapı Ürünlerine Ait EPD Belgeleri Edinimi	X	√	X

Tablo 5.11 YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının genel özelliklerinin karşılaştırması (devamı)

YDD BAĞLAMINDA ÜRÜN SEÇİMİNDE DİJİTAL TASARIM ARAÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI			
Sonuç Verileri ile İlgili Özellikler	**Tally**	**One Click LCA**	**Bombyx**
Seçilen Yapı Ürünlerinin Eğer Varsa Sürdürülebilir Seçeneklerinin Listelenmesi	X	√	X
Küresel Isınma Potansiyeli Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	√	√
Asitleşme Potansiyeli Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	√	X
Ozon Tabakasının İncelme Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	√	X
Ötrofikasyon Potansiyeli Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	√	X
Fotokimyasal Sis veya Ozon Oluşum Potansiyeli Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	√	X
Biyojenik Karbon Depolama Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	√	X
Birincil Enerji Talebi veya Ürünlerin Toplam Birincil Enerji Tüketim Potansiyeli Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	√	√
Yenilenebilir Enerji Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	X	√
Yenilenemez Enerji Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	X	√
Ecopoints'e Göre Gömülü Etki Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	X	X	√
Ecopoints'e Göre Kullanım Sonu Süreci Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	X	X	√
Gömülü Sera Gazları Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	X	X	√
Gömülü Karbon Verisi Sonuçlarının Elde Edilebilmesi	√	X	X

Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital araçlarının YDD bağlamında ürün seçiminde genel özellikleri açısından karşılaştırmaları ile, her aracın diğer araçlara göre belirgin olumlu ve olumsuz özellikleri olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlemler doğrultusunda elde edilen veriler ile dijital tasarım araçlarının gelişimi için öneriler ortaya konmuştur.

- **Tally Aracının Diğer Dijital Araçlarla Karşılaştırmalı Değerlendirmesi**

Tally dijital aracını YDD bağlamında ürün seçiminde One Click LCA ve Bombyx araçlarından ayıran en belirgin olumlu özellikler, dijital aracın Revit'e tamamen entegre olması, aracın Revit'ten aktarılan ve ürün seçimi yapılacak familyalar ile ilgili ürün seçiminden önce bir ön gösterim sunması ve otomatik çelik donatı

hesabını gerçekleştirebilmesidir. Tally dijital aracı, One Click LCA ve Bombyx ile karşılaştırıldığında aracın Bombyx'e göre yetersiz olmadığı ancak One Click LCA aracındaki bazı özellikler açısından zayıflıklar barındırdığı gözlemlenmiştir. Aracın One Click LCA'ya göre belirgin zayıf yönleri; karar vericilere yol gösterici olmak adına otomatik yapı ürünü seçimi veya eşleşmesi yapmaması, Türkiye'den yapı ürünü üreticisi veya yapı ürünü içeren kapsamlı bir veritabanı bulundurmaması ve yapı ürünü seçimi sırasında ürün seçeneklerinin çevresel performansları ile ilgili bir ön gösterim yapmamasıdır.

- One Click LCA Aracının Diğer Dijital Araçlarla Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

One Click LCA dijital aracının Tally ve Bombyx araçlarından ayrılan en belirgin olumlu özellikleri, ürün seçiminde karar vericilere yol göstermek adına otomatik ürün eşleştirmesi yapması, ürün seçeneklerinin çevresel performansları ile ilgili bir ön gösterim sunması, Türkiye'den yapı ürünü üreticisi ve yapı ürünü içeren kapsamlı bir veritabanı bulundurması ve seçilen yapı ürünlerinden eğer varsa bu ürünlerin daha sürdürülebilir seçeneklerini listeleyebilmesidir. One Click LCA aracının Tally ve Bombyx araçlarına göre belirgin olarak olumsuz bulunan özelliği ise, aracın öğrenci sürümünde ürün seçimi ve YDD hesaplamaları gerçekleştirilirken detaylı düzenlemeler için Revit arayüzünden web siteye geçiş yapılmak durumunda kalınmasıdır.

- Bombyx Aracının Diğer Dijital Araçlarla Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Bombyx dijital aracının Tally ve One Click LCA araçlarından ayrılan en belirgin olumlu özellikleri, dijital aracın ücretsiz ve açık kaynak kodlu olması ve Rhinoceros-Grasshopper'a tamamen entegre çalışıp tüm işlemleri tek bir arayüzden gerçekleştirebilmesidir. Bombyx aracının Tally ve One Click LCA araçlarına göre belirgin olarak olumsuz bulunan özellikleri dijital aracın kullanımı ve ürün seçimi için Rhino'ya ek olarak Grasshopper bilgisinin gerekmesi, yapı elemanlarının metrajlarının otomatik olarak elde edilememesi, araçtan PDF veya Excel gibi formatlarda otomatik YDD sonuç raporlarının elde edilememesidir. Aracın yalnızca One Click LCA'ya göre bulunan belirgin zayıf yönleri ise karar vericilere yol gösterici olmak adına otomatik yapı ürünü seçimi veya eşleşmesi yapmaması, Türkiye'den yapı ürünü üreticisi veya yapı ürünü içeren kapsamlı bir

veritabanı bulundurmaması ve yapı ürünü seçimi sırasında ürün seçeneklerinin çevresel performansları ile ilgili bir ön gösterim yapmamasıdır.

- **Tally, One Click LCA ve Bombyx Araçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi**

Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital araçlarında YDD bağlamında ürün seçim süreçlerinin, örnek geliştirilen bir konut yapısının betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri üzerinden irdelendiği tez çalışmasında; tüm araçların yapı ürünü seçim süreci, tasarım süreçlerine uygunluk, yazılımsal, veritabanı, ekonomik, YDD hesaplama süreci, kullanıcı odaklı ve sonuç verileri açısından benzerlikleri olmakla birlikte birbirinden farklılıklarının mevcut olduğu görülmüştür. Bu bağlamda çalışmada kullanılan dijital araçlar, oluşturulan karşılaştırma tablosuna göre değerlendirildiğinde; One Click LCA aracının 47 olumlu ve 29 olumsuz; Tally aracının 46 olumlu ve 30 olumsuz; Bombyx aracının ise 36 olumlu ve 40 adet olumsuz bulunan özelliği olduğu gözlemlenmiştir. Bu doğrultyda One Click LCA ve Tally araçlarının YDD bağlamında ürün seçiminde Bombyx aracına göre daha avantajlı olduğu; üç araç içerisinden en olumlu bulunan aracın ise One Click LCA dijital aracı olduğu ifade edilebilir.

Ayrıca araçlarda gerçekleştirilen ürün seçimi sonucunda elde edilen YDD verilerinin genelinde çevre üzerinde en fazla etkisi olan strüktür seçeneğinin çelik, en düşük etkisi olan seçeneğin ise çağdaş ahşap strüktür olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda tüm dijital araçlarla tutarlı veriler elde edilebildiği dolayısıyla YDD bağlamında ürün seçiminde Tally, One Clik LCA ve Bombyx dijital araçlarının kullanımının uygunluğunun doğrulandığı gözlemlenebilir.

Genel olarak Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital araçları değerlendirildiğinde, bu araçların tümünün YDD bağlamında ürün seçiminde karar vericilere destek olduğu, dijital tasarım araçlarına entegre olarak kullanıcılara karmaşık görünen YDD süreçlerini kolaylaştırdığı ve sistemli bir hale getirdiği, geleneksel yollarla gerçekleştirilen ürün seçim süreçlerini hızlandırdığı, maliyet, iş gücü ve pratiklik açısından inşaat yapım süreçlerine katkı sağladığı, çevreci yapı ürünleri seçimini teşvik etmeleriyle yapılara, canlılara ve çevreye katkılar sağladığı ifade edilebilir.

6
SONUÇ VE ÖNERİLER

Geçmişten bugüne insanların barınma, iş, sosyokültürel, konforlu ve güvenli yaşam gereksinimleri yapılar ile karşılanmaktadır. Yapılar, kullanıcıların bu gereksinmelerini kendilerini oluşturan yapı ürünleri doğrultusunda karşılar. Bugün, değişen kullanıcı gereksinmeleri ve gelişen teknolojiler ile çok çeşitli yapı ürünleri üretilmektedir. Bu yapı ürünleri üretim, uygulama, kullanım gibi süreçlerinde çevre ile devamlı etkileşimdedir. Yapı ürünlerinin çevre ile olan bu etkileşimi ve ürün tiplerinde görülen çeşitlilik artışı, çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla çevre ve sürdürülebilirlik açısından yapı ürünleriyle alakalı özelliklerin bilinmesi, karşılaştırılması ve seçimi giderek önem kazanmaktadır. Bu bağlamda yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD), yapı ürünlerinin süreçlerini içine alan bir döngü boyunca oluşmuş ve olası çevresel etkilerinin değerlendirildiği, ürün seçiminde karar vericilere yardımcı olabilecek yerleşik bir yöntem olarak ele alınabilir.

Yapı ürünü seçimi çevresel etmenler, gereksinmeler, yapı öğe ve bileşenlerinin işlev ve nitelikleri, zorunluluklar, ölçütler ve seçeneklere bağlı gelişen çok değişkenli bir karar verme eylemidir. Bu pek çok değişkene bağlı süreç ve yapı ürünü kaynaklı çevre sorunları göz önüne alındığında, ürün seçiminde çevreye en az zararlı olan ürünlerin seçimi ve bu seçimin pratik bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için sistematik bir yöntemin varlığı önem kazanmaktadır. Literatürde performans yaklaşımına dayalı, maliyete dayalı ve karar yöntemine dayalı çeşitli ürün seçim yöntemleri bulunmaktadır ancak bu yöntemlerin sistematik ve güncel olmamaları gibi sebeplerle kullanıcılar için pratik olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen irdelemeler doğrultusunda çevre dostu yapı ürünü seçimi ve ürünlerin çevresel etkilerini ortaya koymak adına YDD yöntemine dayalı ürün seçiminin, karar vericilere destek olabileceği anlaşılmıştır. Bugün tasarımcılar, çevresel açıdan en uygun yapı ürününü seçebilmeleri için sistemli, tasarım süreçleri ile örtüşen, pratik, günümüz

teknolojileri doğrultusunda gelişen güncel araçlara gereksinim duyduklarını ifade etmektedir. YDD bağlamında yapı ürünü seçiminde karar vericilere yol gösterebilecek bu araçlar; yapı ürünü YDD modelleri, yapı ürünü katalogları, elektronik tablo tabanlı araçlar, genel YDD araçları ve dijital tasarım araçları şeklinde beş başlıkta sınıflandırılabilir. Güncel tasarım süreçlerinin dijital ortamdaki mimari yazılımlar ile gerçekleştirildiği ve Revit, Rhinoceros gibi yazılımların tasarım ile birlikte enerji performansı, termal performans, yasam döngüsü değerlendirmesi gibi çeşitli konularda analiz ve hesaplama yetenekleri barındırdığı düşünüldüğünde çalışma kapsamında YDD bağlamında ürün seçiminde, karar vericilere destek olan araçlardan dijital tasarım araçlarının kullanılabilirliğinin sorgulanması ve irdelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu irdelemenin yapılabilmesi için gerçekleştirilen adımlar ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, ilk olarak yapı ürünü kavramı ve yapı ürünlerinin çevreyle ilişkisi irdelenmiştir. Yapı ürünlerinin tasarım, hammadde edinimi, üretim, satış, uygulama, kullanım, bakım ve onarım, kullanımının yinelenmesi, geridönüşüm ve yok edilme süreçlerini içerdiği ve ürünlerin tüm bu süreçlerde farklı çevresel etkiler oluşturduğundan bahsedilmiştir. Bu bağlamda, yapı ürünlerinin çevresel etkilerini ortaya koymak amacıyla yaşam döngüsü değerlendirmesi yönteminden yararlanılabileceği ifade edilmiştir. Ardından yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreçleri olan üretim, uygulama, kullanım ve kullanım sonu süreçlerinden bahsedilerek ISO 14040 standardı kapsamındaki amaç ve kapsam, envanter analizi, etki değerlendirmesi ve yorumlama adımlarından oluşan YDD yöntemi irdelenmiştir.

Üçüncü bölümde ise yapıda ürün seçimi konusu; tasarımda yapı ürünü seçiminin yeri ve önemi ile ürün seçiminde yaklaşım ve yöntemler başlıkları kapsamında ele alınmıştır. Tasarımda yapı ürünü seçiminde kullanıcıya bağlı, doğal ve yapma çevreye bağlı etmenler, gereksinmeler ve zorunluluk gibi pek çok değişkenin olduğu ifade edilmiştir. Ürün seçiminde kullanılan yaklaşım ve yöntemler için literatür taraması yapıldığında ise performans yaklaşımına dayalı, maliyete datalı ve karar yöntemine dayalı üç farklı ürün seçim yöntemi olduğu görülmüştür. Bununla birlikte belirtilen yöntemlerin tümünün, gereksinme ve talep

doğrultusunda karar vericiler tarafından seçilip tercih edilebileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda performans yaklaşımına dayalı ürün seçiminde, sürdürülebilirlik doğrultusunda YDD bağlamında ürün seçiminin gerçekleştirilebileceği ifade edilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, YDD'ye dayalı ürün seçiminin önemi ve bu seçim süreçlerinde karar vericilere yardımcı olabilecek araçların sınıflandırmaları incelenmiştir. YDD yöntemine dayalı ürün seçimi ile, yapı ürünlerinin çevresel yükünün tasarımın erken süreçlerinden itibaren değerlendirilebileceği ve yapı için hedeflenen çevresel performansa ulaşılabileceği ifade edilmiştir. YDD bağlamında ürün seçiminde karar vericilere yardımcı olabilecek araçlar, tasarım sürecine entegre edilebilmeleri açısından en zordan en pratiğe doğru yapı ürünü YDD modelleri, yapı ürünü katalogları, elektronik tablo tabanlı araçlar, genel YDD araçları ve dijital tasarım araçları şeklinde sınıflandırılmıştır. Yapı ürünü modelleri ile ürün seçimi Woolley, Anderson ve Gökçe Tuna Taygun modelleri; yapı ürünü katalogları ile ürün seçimi EPD'ler, ArchDaily ve Arkitera–RAF web siteleri; elektronik tablo tabanlı araçlar ile ürün seçimi TRACI ve EcoCalculator; genel YDD araçları ile ürün seçimi ise SimaPro ve GaBi araçları ile örneklenmiştir. Dijital tasarım araçları ile ürün seçimi ile ilgili ise; dijital tasarım ve dijital tasarım araçları kavramlarından bahsedilmiş, dijital tasarım araçlarının bilgisayar destekli tasarım, yapı bilgi modellemesi ve hesaplamalı tasarım araçları şeklinde üç başlıkta toplanabileceği ifade edilerek bu araçların genel özellikleri ele alınmıştır. Bu araçlardan yaygın kullanımları sebebiyle BIM araçlarından Autodesk Revit ve hesaplamalı tasarım araçlarından Rhinoceros 3D ile bu aracın bir eklentisi olan Grasshopper yazılımları, genel özellikleri ve yapı ürünü seçimi bağlamında tez kapsamında incelenmiştir.

Çalışmanın son aşaması olan beşinci bölümde ise, YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının özellikleri ve etkileri sorgulanmıştır. İncelemeler İstanbul'da tasarlanan örnek bir bir konut yapısının betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçenekleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ilgili konut yapısının YDD bağlamında ürün seçimlerinde Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital tasarım araçları irdelenmiş ve bu doğrultuda YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının etkilerine ilişkin saptamalar

elde edilmiştir. İrdelenen dijital araçlardan Tally'nin Revit'e entegre edilebilen YDD bir aracı olduğu belirtilmiştir. Otomatik olarak Revit arayüzünden örnek projenin betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçeneklerinin yapı ürünü ve metraj bilgilerini kendi arayüzüne aktarabilen Tally aracının, sistemindeki kendi veritabanı doğrultusunda ürün bilgilerini sağladığı ve bu sayede Revit arayüzünden hiç çıkmadan YDD bağlamında ürün seçimine destek sağlayabildiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte farklı yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin, YDD sonuçlarının karşılaştırmalarına olanak sağlayan Tally aracı, Türkiye'den yapı ürünü üreticileri ve yapı ürünleri barındırmadığı ifade edilmiştir. İrdelenen bir diğer araç olan One Click LCA ise yine bir Revit YDD eklentisidir. Çeşitli veritabanlarını barındıran One Click LCA dijital aracının, Revit ve web arayüzleri ile YDD bağlamında ürün seçiminde karar vericilere destek sağlayabileceği ifade edilmiştir. Otomatik olarak Revit arayüzünden örnek projenin betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçeneklerinin yapı elemanı ve bu elemanlara ait metraj bilgilerini kendi arayüzüne aktarabilen One Click LCA dijital aracının, otomatik ve kullanıcı tarafından el ile YDD bağlamında yapı ürünü seçimine olanak sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Türkiye'den ürün ve üreticileri veritabanında bulunduran dijital aracın, YDD bağlamında ürün seçiminde yerel karar vericilere destek sağlayabileceği ifade edilmiştir. Değerlendirilen son dijital araç olan Bombyx ise, bir Rhinoceros–Grasshopper eklentisidir. Kullanıcı tarafından örnek projenin betonarme, çelik ve çağdaş ahşap strüktür seçeneklerinin Rhino modellerindeki yapı elemanlarına ait yüzey alanlarının seçimi ile elde edilen veriler doğrultusunda, Grasshopper arayüzünden çıkmadan, kendi yapı ürünü veritabanındaki ürünler ile YDD bağlamında ürün seçimine destek sağlayabildiği gözlemlenmiştir. Türkiye'den ürün ve üretici barındırmayan dijital aracın, İsviçre verileri ile YDD hesaplamalarını ve ürün seçimlerini gerçekleştirdiği belirtilmiştir.

Bölüm kapsamında ayrıca dijital araçların yapı ürünü seçim süreci, tasarım süreçlerine uygunluk, yazılımsal, veritabanı, ekonomik, YDD hesaplama süreci, kullanıcı odaklı ve sonuç verileri ile ilgili özellikleri açısından güçlü ve zayıf bulunan yönleri ifade edilmiş, böylelikle araçların genel değerlendirmeleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen karşılaşmalar doğrultusunda, One Click LCA ve Tally araçlarının YDD bağlamında ürün seçiminde Bombyx aracına göre daha avantajlı

olduğu; üç araç içerisinden en olumlu bulunan aracın ise One Click LCA dijital aracı olduğu ifade edilebilir.

One Click LCA aracının YDD bağlamında ürün seçiminde en olumlu bulunan araç olma sebebi, dijital aracın ürün seçiminde karar vericilere yol göstermek adına otomatik ürün eşleştirmesi yapması, ürün seçeneklerinin çevresel performansları ile ilgili bir ön gösterim sunması, Türkiye'den yapı ürünü üreticisi ve ürünü içeren kapsamlı veritabanı bulundurması ve seçilen yapı ürünlerinden varsa bu ürünlerin sürdürülebilir seçeneklerini listeleyebilmesidir. Aracın genel anlamda olumsuz değerlendirilebilen özelliği ise öğrenci sürümünde YDD hesaplamaları ve ürün seçimi için Revit eklentisinden aracın kullanıcıyı web sitesine yönlendirmesidir. Öğrenci sürümünde tüm işlemler, Revit eklentisinde gerçekleştirilemez.

Tally aracının orta seviyede olumlu bulunmasını sağlayan özellikleri ise dijital aracın tamamen Revit'e entegre olması, aracın Revit'ten aktarılan ve ürün seçimi yapılacak familyalar ile ilgili ürün seçiminden önce bir ön gösterim sunması ve otomatik çelik donatı hesabını gerçekleştirebilmesidir. Dijital aracın olumsuz bulunan özellikleri ise karar vericilere yol gösterici olmak adına otomatik yapı ürünü seçimi veya eşleşmesi yapmaması ve Türkiye'den yapı ürünü üreticisi veya yapı ürünü içeren kapsamlı bir veritabanı bulundurmamasıdır.

Çalışma kapsamında en az olumlu bulunan Bombyx aracı ise ücretsiz ve açık kaynak kodlu olması ve Rhinoceros-Grasshopper'a tamamen entegre çalışıp tüm işlemleri tek bir arayüzden gerçekleştirebilmesi açısından olumludur. Bunun dışında araçta yapı elemanı metrajlarının otomatik olarak elde edilememesi, otomatik ürün eşleşmesi yapılamaması, ürün seçimi için Rhino'ya ek olarak Grasshopper bilgisinin gerekmesi, Türkiye'den yapı ürünü üreticisi veya yapı ürünü içeren kapsamlı bir veritabanı bulundurmaması ve yapı ürünü seçimi sırasında ürün seçeneklerinin çevresel performansları ile ilgili bir ön gösterim yapmaması sebeplerinden YDD bağlamında ürün seçimi açısından en az olumlu bulunan araç olmuştur.

Tez çalışmasında yapılan tüm bu irdelemeler ile;

- Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında yapı ürünü seçiminin yeri ve öneminin etkisi,

- Ürün seçimi için karar vericilerin faydalanabileceği performans yaklaşımına, maliyete ve karar yöntemine dayalı çeşitli yöntemlerin var olduğu fakat bu yöntemlerin sistematik olmayıp çevreci ürün seçimi gibi güncel gereksinmeleri karşılayacak özellikler göstermedikleri ve bu bağlamda YDD yönteminin ve YDD'ye dayalı çeşitli araçların, çevre dostu ürün seçiminde karar vericilere destek sağlayabileceği,
- YDD'ye dayalı ürün seçiminde karar vericilerin faydalanabileceği araçların; yapı ürünü YDD modelleri, ürün katalogları, elektronik tablo tabanlı araçlar, genel YDD araçları ve dijital tasarım araçları olarak sınıflandırılabildiği, ve bu araçlardan en sistematik ve kullanıcı dostu olanının tasarım süreçlerine entegre edilebilen dijital tasarım araçları olduğu,
- Çalışma kapsamında irdelenen Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital tasarım araçları, genel olarak karmaşık olarak ifade edilen YDD süreçleri bağlamında ürün seçiminde, karar vericilere bir yol gösterici ve bir kılavuz olarak değerlendirilebileceği, ayrıca bu araçların pratik ve sistemli yapısı sayesinde el ile gerçekleştirilen YDD'ye dayalı ürün seçim süreçlerine göre çok daha kısa sürede ürün seçimi yapılabildiği,
- Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital araçlarının, yapı sektöründe sıklıkla kullanılan Revit ve Rhinoceros-Grasshopper gibi programlara entegre olabilmeleri sayesinde genel olarak ek bir modelleme veya program bilgisi gerektirmediği, bu sayede araçların, tasarımcılar açısından iş gücü ve süre, işverenler açısından ise maliyet anlamında kazanımlar sağladığı,
- Dijital araçlardan Revit ile YDD yönteminin entegrasyonu sayesinde gerçekleştirilen YDD hesaplamaları ve ürün seçim süreçlerinin, Rhinoceros-Grasshopper ile YDD entegrasyonu açısından daha sistemli olduğu ve daha net sonuçlar verebildiği ve bu doğrultuda Revit-One Click LCA ve Tally dijital araçları ile YDD bağlamında ürün seçiminin, Grasshopper Bombyx aracına göre daha uygun olduğu,
- YDD bağlamında ürün seçimi konusunda irdelenen Tally, One Click LCA ve Bombyx araçlarından, yapı ürünü seçim süreci, tasarım süreçlerine uygunluk, yazılımsal, veritabanı, ekonomik, YDD hesaplama süreci,

kullanıcı odaklı ve sonuç verileri ile ilgili özellikler açısından en olumlu bulunan dijital aracın One Click LCA aracı olduğu ve belirtilen özellikler açısından en az olumlu bulunan aracın ise Bombyx olduğu,

- Türkiye'ye ait standart bir yerel veritabanının olmaması nedeniyle, YDD bağlamında ürün seçiminde kullanılan dijital tasarım araçlarında genel olarak yeterli yerel üretici ve ürün bilgisi bulunmadığı ve bu durumun Türkiye'deki projelerin YDD bağlamında ürün seçimlerinde, ürün bilgilerinin net olarak elde edilememesine, YDD hesaplamalarında ve yapı ürünlerinin karşılaştırmalarında kesin sonuçlara varılamamasına sebep olduğu,
- Genel olarak YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarının, kullanıcılara pratiklik, zaman ve kullanım kolaylığı gibi kazanımlar sağladığı; insana ve tüm diğer canlılara sağlık; yapıya ve çevreye ise sürdürülebilirlik bağlamında önemli katkılar sağlayabileceği

sonuçları elde edilmiştir.

İrdeleme ile elde edilen sonuçlar bağlamında;

- Tally'nin zayıf yönleri doğrultusunda gelişimi için, yapı ürünü seçimini yönlendirebilecek otomatik bir ürün eşleştirme özelliği ile veritabanındaki seçilebilecek yapı ürünü seçeneklerinin çevresel performanslarını ifade eden grafiksel gösterimlerin yazılıma entegre edilmesi, dijital araca farklı ülke ve üreticilerin yapı ürünü bilgilerini barındıran kapsamlı bir veritabanının tanımlanması,
- One Click LCA aracının zayıf yönleri doğrultusunda gelişimi için aracın tüm sürümlerinde web arayüzüne gereksinim duyulmayan ve Revit'e tam entegre edilmiş araçlara erişimin sağlanması,
- Bombyx aracının zayıf yönlerinin gelişimi için, yapı elemanı metrajlarının yapı modeli üzerinden otomatik elde edilebileceği bir algoritma oluşturularak yazılıma entegre edilmesi, otomatik olarak Bombyx içerisinden YDD sonuç raporu elde edilmesini sağlayacak bir özelliğin geliştirilmesi, yapı ürünü seçimini yönlendirebilecek otomatik bir ürün eşleştirme özelliği ile veritabanındaki seçilebilecek yapı ürünü

seçeneklerinin çevresel performanslarını ifade eden grafiksel gösterimler entegre edilmesi, dijital araca farklı ülke ve üreticilerin yapı ürünü bilgilerini barındıran kapsamlı bir veritabanının tanımlanması,

- Uluslararası ortak standartlar doğrultusunda gelişen, tüm ülkelerde ortak kabul edilen etki kategorileri ve süreçlere göre yaşam döngüsü değerlendirmesi yapan, tüm ülkelerden üretici ve ürün bilgilerini içeren kapsamlı bir veritabanı bulunduran, kullanımı ücretsiz, farklı yazılımlara entegre edilebilen, Revit ve Rhinoceros gibi dijital tasarım araçlarına tamamen entegre edilmiş, tek bir arayüzde tüm işlemlerin gerçekleştirilebildiği, yapı modelinden otomatik yapı elemanı metrajlarının elde edilebildiği, karar vericilere yol gösterici olmak adına otomatik ürün eşleşmesi yapabilen, tasarımın tüm süreçlerine entegre edilebilen, kullanıcı müdahalesine izin veren, el ile yapı ürünü bilgisi girişine olanak tanıyan, yapı ürünü seçimi sırasında karar vericilere ürünlerin çevresel performansları ile ilgili ön gösterim sunan, ulaşım, elektrik ve su tüketimi verilerini hesaplamalara dahil eden, PDF ve Excel gibi farklı formatlarda, farklı grafik tiplerinde karşılaştırmalı sonuç raporlarının otomatik elde edilebildiği, otomatik envanter analizi raporunun oluşturulabildiği, seçilen yapı ürünlerinin sürdürülebilir seçeneklerinin listelenebildiği, ürünlerle ilgili maliyet verilerinin entegre edilebildiği özellikler gösteren, farklı kurumlar tarafından geliştirilen birden fazla araç yerine tek bir YDD bağlamında ürün seçimine yönelik dijital aracın geliştirilmesi

önerilebilir.

Gerçekleştirilen tez araştırması kapsamında ortaya çıkan bulgular ve öneriler doğrultusunda gelecek çalışmalarda geliştirilmek üzere hesaplamalı tasarım araçları ile YDD entegrasyonu doğrultusunda gerçekleştirilebilecek YDD bağlamında ürün seçimi konusu irdelenebilir. Bununla birlikte YDD bağlamında ürün seçiminde dijital tasarım araçlarında kullanılabilmek üzere Türkiye için standart bir veritabanı gereksinimi gözlemlenmiştir. Yerel ürün ve üreticileri kapsayarak oluşturulabilecek bir ürün veritabanı ile, YDD hesaplamaları ve YDD bağlamında ürün seçim süreçleri sistemli bir hale gelirken, çevresel sürdürülebilirlik ve insan sağlığına katkı sağlanabilir.

KAYNAKÇA

Aish, R. (2013). First Build Your Tools. B. Peters ve T. Peters (Ed.), *Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design*. (1st edition, pp. 36-49). Wiley.

Akın, N. (2018). *Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Modelin Tuğla Örneği Üzerinden İrdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aksin, F. N. (2019). *Yapı Kabuklarının Günışığı ve Enerji Bağlamında Eniyilenmesinde Parametrik Modelleme ve Evrimsel Algoritma Kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Al-Oqla, F. M. ve Salit, M. S. (2017). *Materials Selection for Natural Fiber Composites*. Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/c2015-0-04877-8

Anderson, J. ve Howard, N. (2002). *The Green Guide to Housing Specification - An Environmental Profiling System for Building Materials and Components* (3rd edition). Consignia, Oxford Brookes University and The Building Research Establishment.

Anwar, S. (2020). *Life Cycle Analysis and Comparison of Different Construction Materials of Residential Buildings for Sustainable Construction Choice*. Master Thesis, International Master of Science in Construction and Real Estate Management, HTW Berlin University of Applied Sciences.

Apellániz, D., Pasanen, P., ve Gengnagel, C. (2020). *A Holistic and Parametric Approach for Life Cycle Assessment in the Early Design Stages.* Simulation for Architecture and Urban Design Symposium (SimAUD) 2021, April 15-17.

Arıoğlu, N. (1993). *Yapı Ürünlerinin Seçimi İçin Bir Yöntem*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ashby, M., Shercliff, H. ve Cebon, D. (2007). *Materials: Engineering, Science, Processing and Design* (1st edition). Elsevier.

Ashby, M. F. (2011). *Material Selection in Mechanical Design* (3rd edition). Elsevier.

Athena Sustainable Materials Institute (SMI). (2012). *EcoCalculator Report*. Erişim Tarihi: 14 Haziran 2022, Erişim Adresi: https://calculatelca.com/wp-content/uploads/2011/11/EcoCalculatorTransparencyDocument.pdf

Autodesk. (2022). *Revit Software.* Erişim Tarihi: 22 Mart 2022, Erişim Adresi: https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT

Aydın, M. Ş. (2020). *Bina Bilgi Modellemesi Yoluyla Dış Duvar Enerji Performans Değerlendirmesi: Erzincan'da Bir Konut Örneği.* Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.

Bak-Andersen, M. (2021). *Reintroducing Materials for Sustainable Design – Design Process and Educational Practice* (1st edition). Routledge.

Balanlı, A. (1997). *Yapıda ürün seçimi.* Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Eğitim ve Kültür Hizmetleri Derneği Yayını.

Balanlı, A. ve Öztürk, A. (2006). *Yapı Biyolojisi Yaklaşımlar*. Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Basic, S., Hollberg, A., Galimshina, A., ve Habert, G. (2019). A Design Integrated Parametric Tool for Real-Time Life Cycle Assessment - Bombyx Project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323. https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012112

Bayraktar, F. T. (2010). *Türkiye'de Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi için Bir Sistem Önerisi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bayraktar Sarı, A. Ö. (2018). *Yapı Bilgi Modelleme Tabanlı Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımı ile Mimari Tasarım İş Akışlarının Verimliliğinin Sağlanması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bellido-Montesinos, P., Lozano-Galant, F., Castilla, F. J. ve Lozano-Galant, J. A. (2019). Experiences learned from an international BIM contest: Software use and information workflow analysis. *Journal of Building Engineering*, 21, 149–157. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.012

Birgisdóttir, H. ve Rasmussen, F. N. (2016). *Introduction to LCA of Buildings* (1st edition) Trafik-og Byggestyrelsen.

Bjørn, A., Owsianiak, M., Molin, C. ve Hauschild, M. Z. (2017). LCA History. In *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. M. Hauschild, R. K. Rosenbaum ve S. I. Olsen (Ed.) (pp. 17–30). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3

Briscoe, D. (2006). Practically digital. A. Ali ve C.A. Brebbia (Ed.), *Digital Architecture and Construction* (1st edition, pp. 111-120). WIT Press. https://doi.org/10.2495/DARC060151

Brundtland Commission (1987). *Our common future: report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press.

Budig, M., Heckmann, O., Hudert, M., Ng, A. Q. B., Xuereb Conti, Z. ve Lork, C. J. H. (2020). Computational Screening-LCA Tools for Early Design Stages. *International Journal of Architectural Computing*, 1(17). https://doi.org/10.1177/1478077120947996

Building Transparency, KT Innovations, thinkstep, & Autodesk. (2022). *Tally – About - Overview*. Erişim Tarihi: 30 Mayıs 2022, Erişim Adresi: https://choosetally.com/overview/

Buyle, M., Braet, J. ve Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 379–388. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001

Caetano, I., Santos, L. ve Leitão, A. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 287–300. https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008

CEN (The European Committee For Standardization). (2011). *BS EN 15978:2011 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method.* British Standards Institution.

CEN (The European Committee For Standardization). (2013). *BS EN 15804:2012+A1:2013 - Standards Publication Sustainability of construction works — Environmental product declarations — Core rules for the product category of construction products.* British Standards Institution.

Chang, Y. F. ve Shih, S. G. (2013). BIM-based Computer-Aided Architectural Design. *Computer-Aided Design and Applications*, 10(1), 97–109. https://doi.org/10.3722/cadaps.2013.97-109

Crawford, R. H. (2011). *Life Cycle Assessment in the Built Environment* (1st edition). Spon Press.

Curran, M. A. (1996). Enviromental Life-Cycle Assessment. McGraw-Hill, USA.

Çakmak, A. (2021). Yapı Malzemesinin Tarihsel Gelişimi ve Mimarlığa Etkileri. *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi,* 5(1).

Çayak, B. (2005). *Yapı Ürünlerinin Seçiminde Yararlanılan Ürün Bilgileri Bilişim Sistemi İçin Bir Model Önerisi.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÇEDBİK (Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği). (2019). *B.E.S.T - Konut Sertifika Kılavuzu*. Erişim Tarihi: 11 Haziran 2022, Erişim Adresi: https://cedbik.org/static/media/content_images/files/B_E_S_T-KONUT%20SERT%C4%B0F%C4%B0KA%20KILAVUZU%20-2019-A%C4%9Fustos-V_2_0(1).pdf

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2013). *Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB).* Resmi Gazete Tarih: 10 Temmuz 2013, Sayı: 28703.

Çolakoğlu, B. (2011). Özel Dosya: Mimarlıkta Sayısal Tasarım 2010: Teknolojiler, Yöntemler ve Bilgi Yönetimi İşlemsel: Bilim-Tasarım-Düşünce ve Mimarlık. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, 2, 205–208. https://doi.org/10.4305/metu.jfa.2011.2.10

Ding, G. K. C. (2014). Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: an overview. F. Pacheco-Torgal, L. F. Cabeza, J. Labrincha ve A. de Magalhães (Ed.), *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labelling and Case Studies* (pp. 38–62). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1533/9780857097729.1.38

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. ve Liston, K. (2011). *BIM Handbook* (2nd edition). John Wiley & Sons, Inc, USA.

Fouad, N. A. (2013). *Lehrbuch der Hochbaukonstruktionen* (4th edition). Springer, Deutschland

Freitas, J. D. S., Cronemberger, J., Soares, R. M., ve Amorim, C. N. D. (2020). Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug. *Renewable Energy*, 160, 1468–1479. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.137.

Frischknecht, R. ve Büsser Knöpfel, S. (2013). *Swiss Eco-Factors 2013 according to the Ecological Scarcity Method - Methodological fundamentals and their application in Switzerland.* In Federal Office for the Environment (FOEN).

González, J. ve Fiorito, F. (2015). Daylight Design of Office Buildings: Optimisation of External Solar Shadings by Using Combined Simulation Methods. *Buildings,* 5(2), 560–580. https://doi.org/10.3390/buildings5020560

Guinée, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T. ve Rydberg, T. (2011). *Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. Environmental Science & Technology*. 45, 90–96. https://doi.org/10.17654/JPHMTFeb2015_029_042

Gültekin, A. B. ve Çelebi, G. (2016). Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, 1–36.

Hamzakadı, A. (2019). *Çevre Kaynaklarının Korunmasında Yapı Bilgi Modellemesi Teknolojisi ile Yeşil Bina Oluşumunun Değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Harris, D. J. (1999). A quantitative approach to the assessment of the environmental impact of building materials. *Building and Environment*, 34(6), 751–758. https://doi.org/10.1016/S0360-1323(98)00058-4

Heijungs, R. ve Guinée, J. B. (2012). An Overview of the Life Cycle Assessment Method - Past, Present, and Future. M. A. Curran (Ed.), *Life Cycle Assessment Handbook - A Guide for Environmentally Sustainable Products* (pp. 15–41). Scrivener Publishing. https://doi.org/10.1002/9781118528372

Hollar, S. (2012). *Ecology : The Deilicate Balance of Life On Earth*. Britannica Educational Publishing.

Hollberg, A., Kaushal, D., Basic, S., Galimshina, A. ve Habert, G. (2020). A data-driven parametric tool for under-specified LCA in the design phase. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,* 588. https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/5/052018

Hollberg, A. ve Ruth, J. (2016). LCA in architectural design - A parametric approach. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(7), 943–960. https://doi.org/10.1007/s11367-016-1065-1

Hunt, R. G. ve Franklin, W. E. (1996). LCA - How it Came About. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1(1), 4–7. https://doi.org/10.1007/bf02978624

Huntzinger, D. N. ve Eatmon, T. D. (2009). A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative

technologies. *Journal of Cleaner Production*, 17(7), 668–675. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.007

ISO 14021 (International Organization for Standardization). (2016). *Environmental labels and declarations: Self-declared environmental claims - Type II environmental labelling* (ISO Standard No. 14021:2016).

ISO 14024 (International Organization for Standardization). (2018). *Environmental labels and declarations - Type I environmental labelling - Principles and procedures* (2nd edition). (ISO Standard No. 14024:2018).

ISO 14025 (International Organization for Standardization). (2006). *Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - principles and procedures* (ISO Standard No. 14025:2006).

ISO 14040 (International Organization for Standardization). (2006). Environmental management - Life cycle assessment - Principles an framework (ISO Standard No. 14040:2006)

ISO 21930 (International Organization for Standardization). (2017). *Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products and services* (2nd edition). (ISO Standard No. 21930:2017).

Kalfa, S. M. (2018). Building information modeling (BIM) systems and their applications in Turkey. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation,* 1(1), 55–66. https://doi.org/10.31462/jcemi.2018.01055066.

Kaya Alpan, Z. B. (2020). *A Design Guideline Study for an Immersive Participatory Urban Design Tool*. Master's Thesis, Bahçeşehir University Graduate School of Social Sciences, İstanbul.

Keleş, R. ve Hamamcı, C. (2005). *Çevre Politikası*. İmge Kitabevi Yayınları. Ankara

Keskinel, F. (1985). CAD-CAM Sistemlerine Genel Bir Bakış. *Mimarlık Dergisi*, 85/9.

Köseci, F. C. (2018). *Integrated Life Cycle Assessment (LCA) to Building Information Modelling (BIM).* Master's Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.

Koyaz, M. (2016). Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme Seçimi Aracı (YETMSA). Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kralj, D. ve Markič, M. (2008). Building Materials Reuse and Recycle. *WSEAS Transactions on Environment and Development,* 4(5), 409–418.

Küçükerbaş, M. N. (2021). Bilgisayar Destekli Tasarım Programı Rhinoceros ile Ses Dosyalarının Forma Dönüştürülmesi. *ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD).* https://doi.org/10.48146/odusobiad.994274

Laurin, L. (2017). Overview of LCA-History, Concept, and Methodology. M. Abraham (Ed.), *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (Vol. 1). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10058-2

Lim, Y. W., Seghier, T. E., Harun, M. F., Ahmad, M. H., Samah, A. A., ve Majid, H. A. (2019). Computational BIM for Building Envelope Sustainability Optimization. *MATEC Web of Conferences*, 278, 04001. https://doi.org/10.1051/matecconf/201927804001

Makris, M. P. (2013). *Structural Design Tool for Performative Building Elements: A Semi-Automated Grasshopper Plugin for Design Decision Support of Complex Trusses*. Master Thesis, University of Southern California, USA.

Maleque, M. A. ve Salit, M. S. (2013). Materials Selection and Design. Springer.

Masoudi, A., You, H., ve Suh, S.-H. (2012). Characterization of Eco-Design Checklists. *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, 29(9), 964–970. https://doi.org/10.7736/kspe.2012.29.9.964

Matnagh, E. I. (2019). *Giydirme Cephe Kaplama Sistemlerinin Üretim ve Kullanım Süreci Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

McManus, M. C. ve Taylor, C. M. (2015). The changing nature of life cycle assessment. *Biomass and Bioenergy*, 82, 13–26. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.024

Morini, A. A., Ribeiro, M. J., ve Hotza, D. (2019). Early-stage materials selection based on embodied energy and carbon footprint. *Materials & Design*, 178, 107861. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107861

Najjar, M., Figueiredo, K., Palumbo, M. ve Haddad, A. (2017). Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. *Journal of Building Engineering*, 14, 115–126. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.005

Nalbant, A. E. (2020). *Yapı Bilgi Modelleme'nin Erken Evre Mimari Tasarım Sürecindeki Yeri: Vaka Çalışmaları.* Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Obrecht, T. P., Röck, M., Hoxha, E. ve Passer, A. (2020). The challenge of integrating Life Cycle Assessment in the building design process - A systematic literature review of BIM-LCA workflows. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,* 588(3). https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032024

Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies,* 27, 229-265.

Öner, D. (2019). Uyum Gösteren Gölgeleme Bileşenlerinin Parametrik Tasarım Araçlarıyla Performans Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özbek, A. ve Engür, M. (2018). EDAS Yöntemi ile Lojistik Firma Web Sitelerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi,* 21/2, 417–429. https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.454013

Özcan, H. (2010). *Yapı Bilgi Sistemleri ve Mimarlıktaki Yeri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

Özey, R. (2001). *Çevre Sorunları*. Aktif Yayınevi, İstanbul.

Öztürk, S. (2010). *Bina Performans Analizi Programları ile Enerji Etkin Binalarda Tasarım Süreci - Bir Örnek İncelemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Pollini, B. ve Rognoli, V. (2021). Early-stage material selection based on life cycle approach: tools, obstacles and opportunities for design. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 1130–1139. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.07.014

Pryshlakivsky, J. ve Searcy, C. (2013). Fifteen years of ISO 14040: A review. *Journal of Cleaner Production,* 57, 115–123. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.038

Ramalhete, P. S., Senos, A. M. R. ve Aguiar, C. (2010). Digital Tools for material selection in product design. *Materials and Design,* 31, 2275–2287. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.12.013

Roberts, M., Allen, S. ve Coley, D. (2020). Life cycle assessment in the building design process – A systematic literature review. *Building and Environment*, 185. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107274

Röck, M., Hollberg, A., Habert, G. ve Passer, A. (2018). LCA and BIM: Integrated Assessment and Visualization of Building Elements' Embodied Impacts for Design Guidance in Early Stages. *Procedia CIRP*, 69(May), 218–223. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.087

Safari, K. ve AzariJafari, H. (2021). Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: Methodological choices and framework development. *Sustainable Cities and Society*, 67. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102728

Sayın, M. (2020). *Yeşil Bina Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemi Kapsamında Çevresel Ürün Beyanlarının Yapılarda Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Şentürk, H. (2008). *Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkileri: Bütünleşik Ürün Politikası Bağlamında Bir İrdeleme*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry). (1993). *Guidelines for life cycle assessment: a 'code of practice'.* F. Consoli, D. Allen, I. Boustead, N. de Oude, J. Fava, R. Franklin, A.A. Jensen, R. Parrish, R. Perriman, D. Postlethwaite, B. Quay, J. Séguin ve B. Vigon (Ed.). Report from a SETAC Workshop in Sesimbra, Brüssels.

Seyis, S. (2020). Mixed method review for integrating building information modeling and life-cycle assessments. *Building and Environment*, 173, 106703. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106703

Silvestre, J. D., Pargana, N., De Brito, J., Pinheiro, M. D. ve Durão, V. (2016). Insulation Cork Boards-Environmental Life Cycle Assessment of an Organic Construction Material. *Materials,* 9, 394. https://doi.org/10.3390/ma9050394

Simonen, K. (2014). *Life Cycle Assessment (Pocket Architecture)* (1st edition). Routledge.

Sinha, R., Lennartsson, M. ve Frostell, B. (2016). Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study. *Building and Environment*, 104, 162–171. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.012

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. ve García-Martínez, A. (2017). Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*, 136, 110–120. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009

Soylu, P. (2020). Yapısal Sürdürülebilirlik Bağlamında BIM Koordinasyonuyla Söküme Uygun Yapı Elemanı Tasarımı Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Spiegel, R. ve Meadows, D. (2012). *Green Building Materials: A Guide to Product Selection and Specification* (3rd edition). John Wiley & Sons, Inc.

Suppipat, S., Teachavorasinskun, K., ve Hu, A. H. (2021). Challenges of Applying Simplified LCA Tools in Sustainable Design Pedagogy. *Sustainability*, 13(4), 2406. https://doi.org/10.3390/su13042406.

Terzi, S. (2009). *Sürdürülebilir Çevre Açısından Uygun Yapı Ürünlerinin Seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Terzidis, C. (2003). *Expressive form: a conceptual approach to computational design*. Taylor & Francis.

The U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice EPA/600/R-06/060*.

The U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2022). *Tool for Reduction and Assessment of Chemicals and Other Environmental Impacts (TRACI)*. Erişim Tarihi: 11 Haziran 2022, Erişim Adresi: https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci

Toydemir, N., Gürdal, E. ve Tanaçan, L. (2011). *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme.* Literatür Yayınları, İstanbul.

TS EN ISO 14020 (Türk Standardları Enstitüsü) (2002). *Çevre etiketleri ve beyanları - Genel prensipler.* (TS EN ISO Standard No. 14020:2002)

TS EN ISO 14040 (Türk Standardları Enstitüsü). (2007). *Çevre yönetimi - Hayat boyu değerlendirme - İlkeler ve çerçeve.* (TS EN ISO Standard No. 14040:2007)

TS EN ISO 14044 (Türk Standardları Enstitüsü). (2007). *Çevre yönetimi – Hayat boyu değerlendirme – Gerekler ve kılavuz.* (TS EN ISO Standard No. 14044:2007)

Tucker, T. J. (2014). *Performative Shading Design : Parametric Based Measurement Of Shading System Configuration Effectiveness And Trends*. Master Thesis, University of Southern California, USA.

Tuna Taygun, G. (2005). *Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi.* Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tuna Taygun, G. (2019). Yapıda Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yapıda Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Doktora Dersi Basılmamış Ders Notu*, 2019.

Tuna Taygun, G. ve Balanlı, A. (2005). Yaşam Döngüsü Süreçlerinde Yapı Ürünü-Çevre Etkileşimi. *Megaron YTU Mimarlık Fakültesi Dergisi 1(1).*

Tuna Taygun, G. ve Balanlı, A. (2013). Çevreci Tasarım ve C2C Yaklaşımı. *Uludağ Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Çevre Tasarım Kongresi 2013 Bildiri Kitabı.*

Turan, B. O. (2009). *Dijital Tasarım Sürecinin Geleneksel Tasarım Stüdyosuna Etkileri.* Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TÜİK. (2022). *TÜİK İstatistik Veri Portalı.* Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2022, Erişim Adresi: https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=cevre-ve-enerji-103&dil=1

Türkoğlu Sülü, M. (2018). *Hesaplamalı Mimari Tasarımda Biçim Çeşitliliği: Parametrisizm Üzerine Bir Çalışma*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. Nairobi.

Utkucu, D. (2019). Building Performance Optimization Through Design Decision Process with A Holistic Approach. M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Energy Institute, İstanbul.

Wahbeh, W. (2017). *Building skins, parametric design tools and BIM platforms.* 12th Conference of Advanced Building Skins.

Wastiels, L. ve Decuypere, R. (2019). Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012101

Woolley, T., Kimmins, S., Harrison, P. ve Harrison, R. (1997). Green Building Handbook. Taylor & Francis.

World Green Building Council (2020). *WorldGBC Annual Report 2020*. Erişim Tarihi: 11 Haziran 2022, Erişim Adresi: https://worldgbc.org/sites/default/files/WorldGBC%20Annual%20Report%202020_1.pdf

Yılmaz, B. Ç. (2018). A Performance Based Decision-Making Approach For Insulation Material Selection: A Social Housing Case. Ph.D. Thesis, İstanbul

Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul.

Yüksek, I. ve Mıhlayanlar, E. (2015). Yaşam Döngüsü Sürecinde Yapı Malzemesi Çevre Etkileşimi. *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, 975–983.

Zabalza Bribián, I., Valero Capilla, A. ve Aranda Usón, A. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment,* 46, 1133–1140. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002

Zhang, H. (2011). *Building materials in civil engineering*. Woodhead Publishing.

A
TALLY SONUÇ RAPORLARI

Betonarme - Çelik - Çağdaş Ahşap

1.06.2022

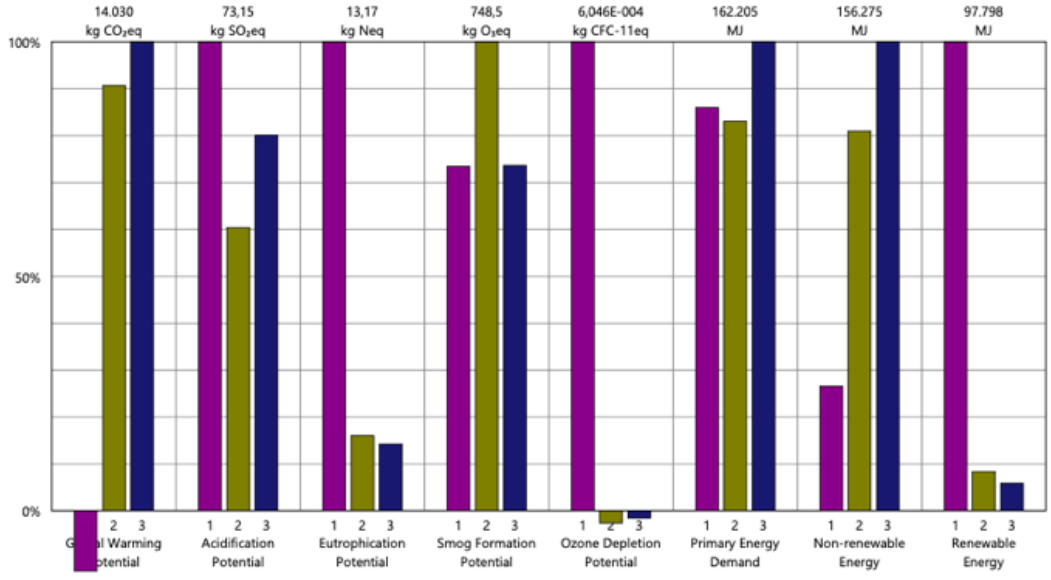
Örnek Konut Yapısı

Report Summary

Created with Tally
Non-commercial Version 2022.04.08.01

Goal and Scope of Assessment
Life Cycle Assessment

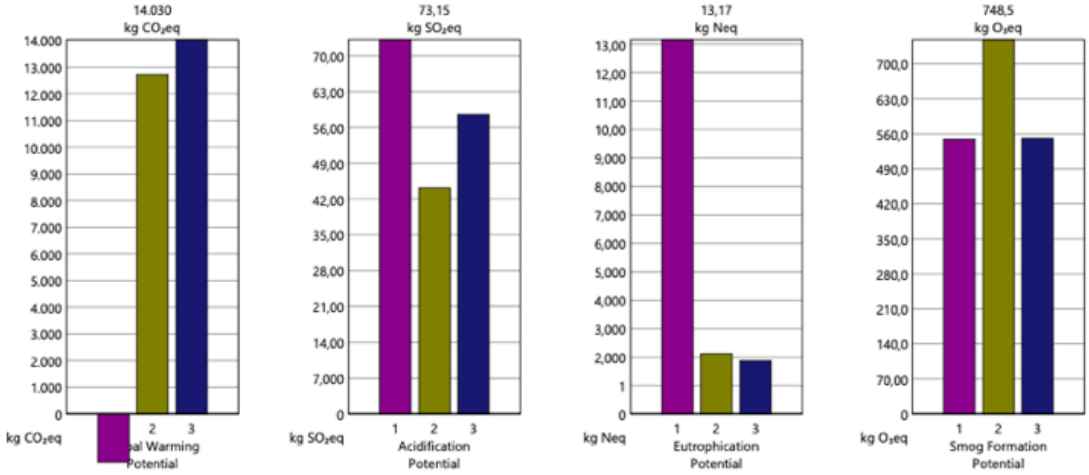
Author	kosurgeliecem@gmail.com
Company	YTÜ
Date	1.06.2022
Project	Betonarme - Çelik - Çağdaş Ahşap
Location	İstanbul, Turkey
Gross Area	67 m²
Building Life	60 years
Boundaries	Cradle to grave, inclusive of biogenic carbon; see appendix for a full list of materials and processes

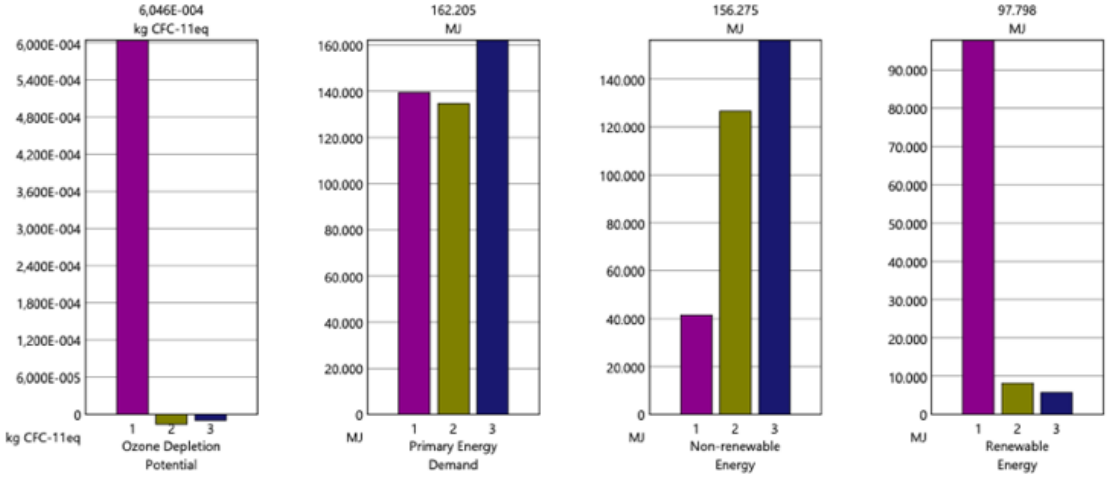


Legend

Design Options
- Ahsap
- Betonarme (primary)
- Celik

Report Summary (continued)



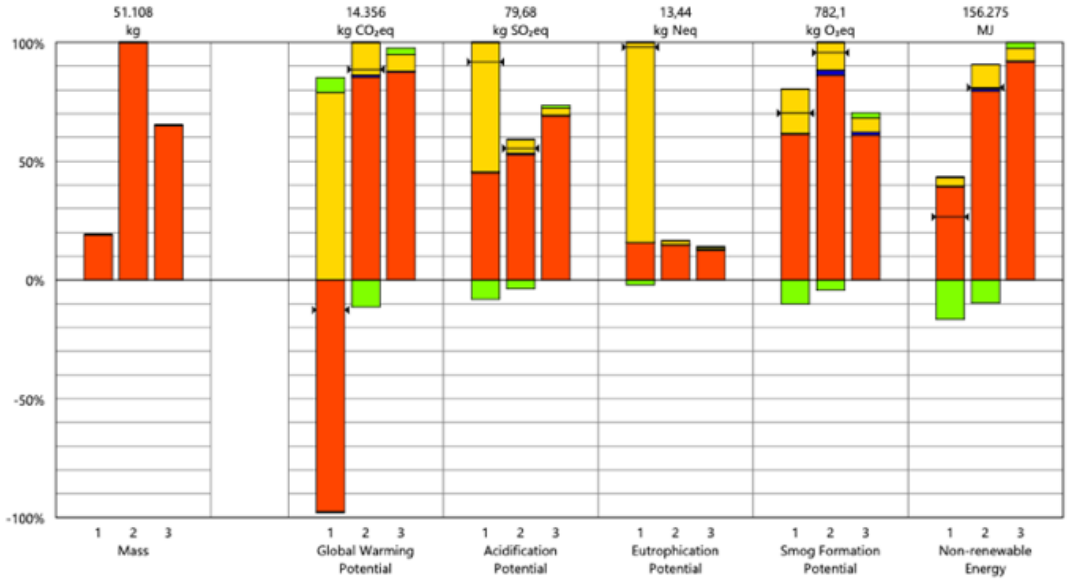


Legend

Design Options

- Ahsap
- Betonarme (primary)
- Celik

Results per Life Cycle Stage



Legend

Net value (impacts + credits)

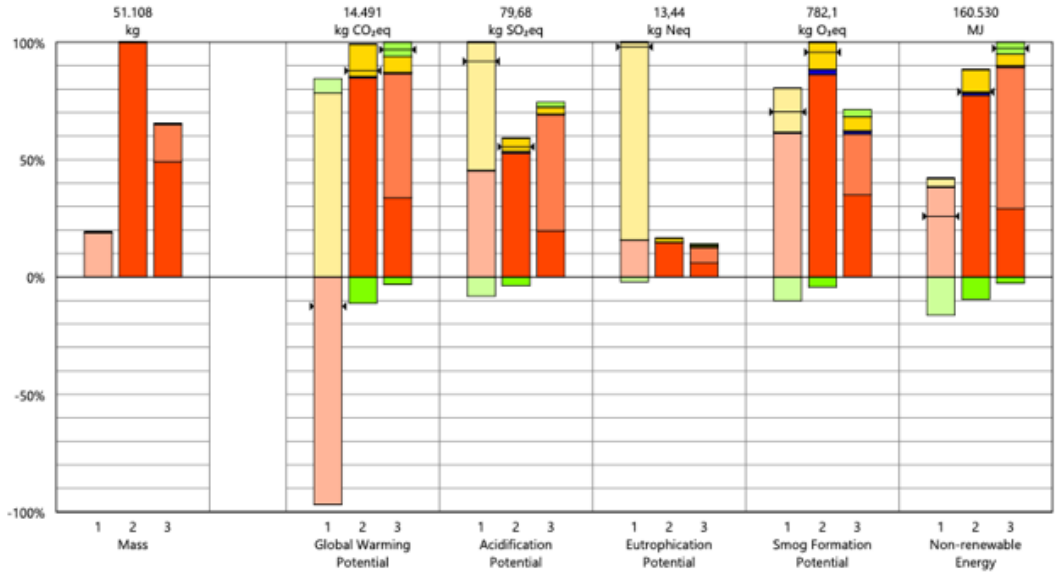
Design Options

Option 1 - Ahşap
Option 2 - Betonarme (primary)
Option 3 - Celik

Life Cycle Stages

- Product [A1-A3]
- Transportation [A4]
- Maintenance and Replacement [B2-B5]
- End of Life [C2-C4]
- Module D [D]

Results per Life Cycle Stage, itemized by Division



Legend

Net value (impacts + credits)

Design Options

Option 1 - Ahsap
Option 2 - Betonarme (primary)
Option 3 - Celik

Product [A1-A3]

03 - Concrete
05 - Metals
06 - Wood/Plastics/Composites

Transportation [A4]

03 - Concrete
05 - Metals
06 - Wood/Plastics/Composites

Maintenance and Replacement [B2-B5]

03 - Concrete
05 - Metals
06 - Wood/Plastics/Composites

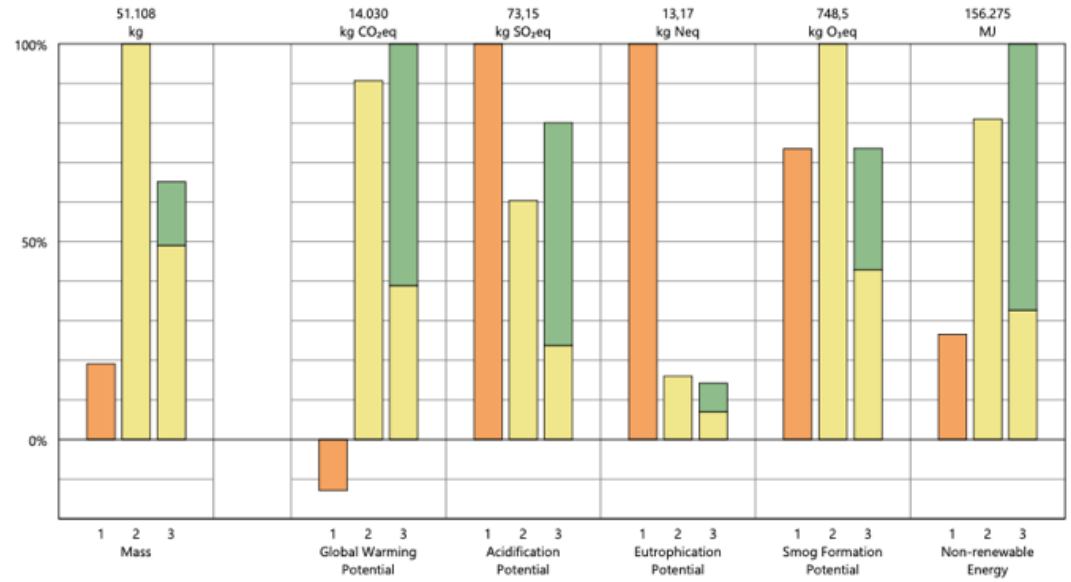
End of Life [C2-C4]

03 - Concrete
05 - Metals
06 - Wood/Plastics/Composites

Module D [D]

03 - Concrete
05 - Metals
06 - Wood/Plastics/Composites

Results per Division



Legend

Net value (impacts + credits)

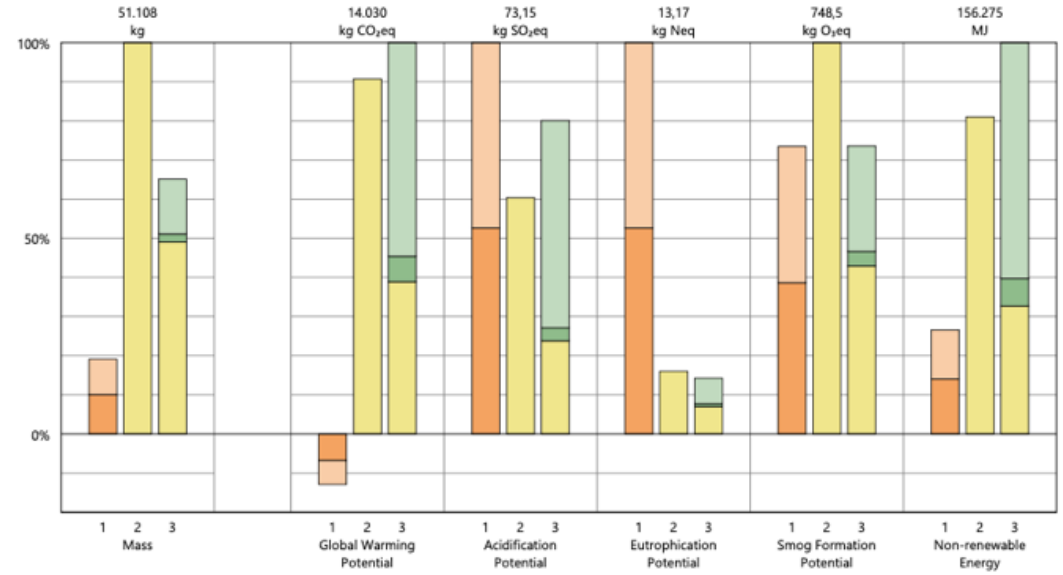
Design Options

Option 1 - Ahsap
Option 2 - Betonarme (primary)
Option 3 - Celik

Divisions

03 - Concrete
05 - Metals
06 - Wood/Plastics/Composites

Results per Division, itemized by Tally Entry



Legend

Net value (impacts + credits)

Design Options

Option 1 - Ahsap
Option 2 - Betonarme (primary)
Option 3 - Celik

03 - Concrete

Cast-in-place concrete, structural concrete, 3000 psi

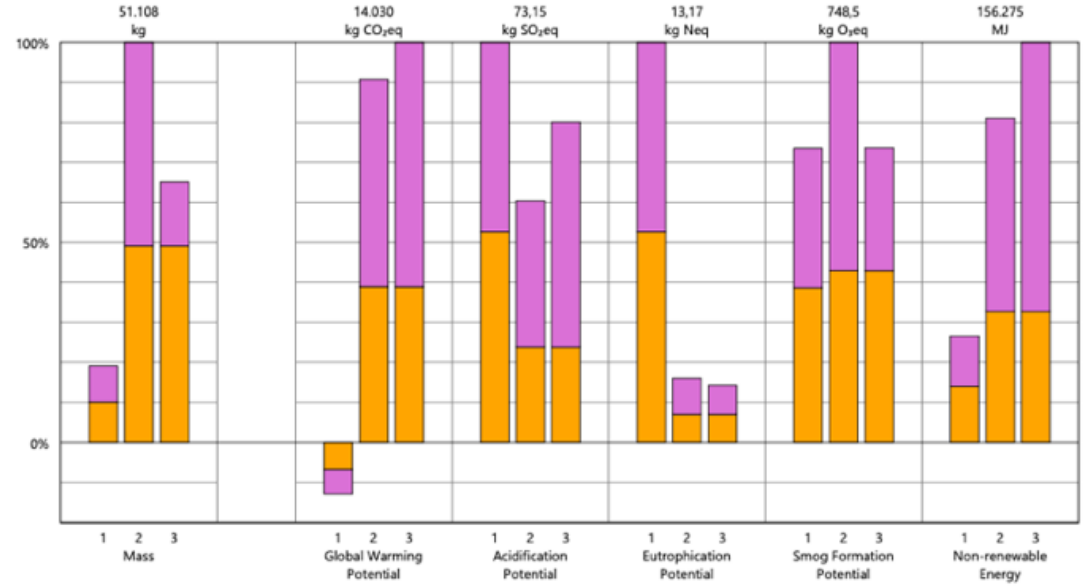
05 - Metals

Steel, HSS section
Steel, IPN section

06 - Wood/Plastics/Composites

Cross laminated timber (CLT)
Glue laminated timber (Glulam)

Results per Revit Category



Legend

Net value (impacts + credits)

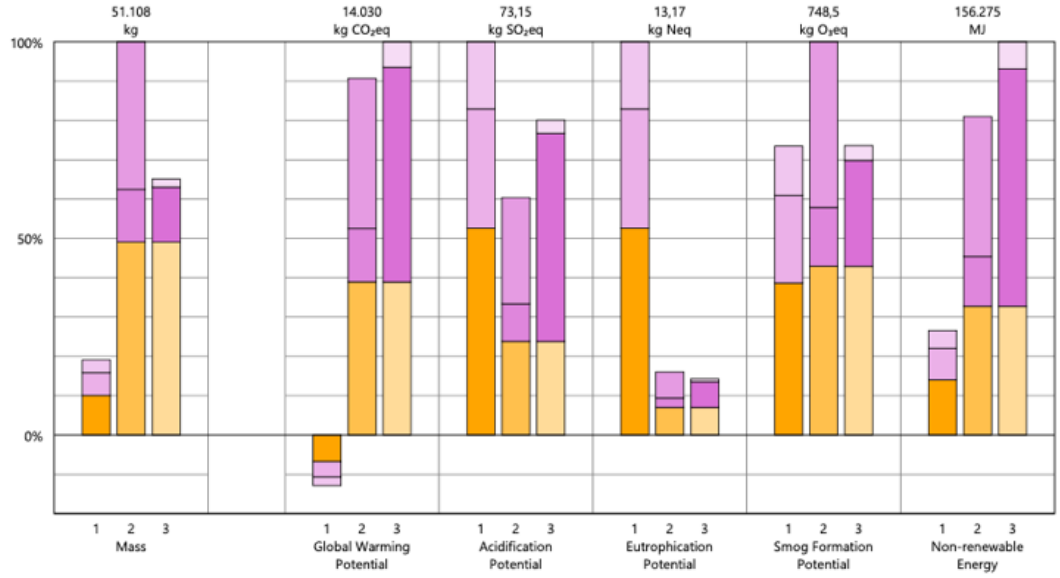
Design Options

Option 1 - Ahsap
Option 2 - Betonarme (primary)
Option 3 - Celik

Revit Categories

Floors
Structure

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

Net value (impacts + credits)

Design Options

Option 1 - Ahsap
Option 2 - Betonarme (primary)
Option 3 - Celik

Floors

Ahsap Doseme
Betonarme Doseme
Celik Doseme

Structure

IPN
Kolon
M_Concrete-Rectangular Beam
M_Glulam-Southern Pine
M_Glulam-Southern Pine-Column
SHS-Square Hollow Section-Column

Calculation Methodology

LIFE CYCLE ASSESSMENT METHODS

The following provides a description of terms and methods associated with the use of Tally to conduct life cycle assessment for construction works and construction products. Tally methodology is consistent with LCA standards ISO 14040-14044, ISO 21930:2017, ISO 21931:2010, EN 15804:2012, and EN 15978:2011. For more information about LCA, please refer to these standards or visit www.choosetally.com.

Studied objects

The life cycle assessment (LCA) results reported represent an analysis of a single building, multiple buildings, or a comparative analysis of two or more building design options. The assessment may represent the complete architectural, structural, and finish systems of the building(s) or a subset of those systems. This may be used to compare the relative environmental impacts associated with building components or for comparative study with one or more reference buildings. Design options may represent a full or partial building across various stages of the design process, or they may represent multiple schemes of a full or partial building that are being compared to one another across a range of evaluation criteria.

Functional unit and reference unit

A functional unit is the quantified performance of a product, building, or system that defines the object of the study. The functional unit of a single building should include the building type (e.g. office, factory), relevant technical and functional requirements (e.g. regulatory requirements, energy performance), pattern of use (e.g. occupancy, usable floor area), and the required service life. For a design option comparison of a partial building, the functional unit is the complete set of building systems or products that perform a given function. It is the responsibility of the modeler to assure that reference buildings or design options are functionally equivalent in terms of scope and relevant performance. The expected life of the building has a default value of 60 years and can be modified by the modeler.

The reference unit is the full collection of processes and materials required to produce a building or portion thereof and is quantified according to the given goal and scope of the assessment over the full life of the building. If construction impacts are included in the assessment, the reference unit also includes the energy, water, and fuel consumed on the building site during construction. If operational energy is included in the assessment, the reference unit includes the electrical and thermal energy consumed on site over the life of the building.

Data source

Tally utilizes a custom designed LCA database that combines material attributes, assembly details, and architectural specifications with environmental impact data resulting from the collaboration between KieranTimberlake and thinkstep. LCA modeling was conducted in GaBi 8.5 using GaBi 2018 databases and in accordance with GaBi databases and modeling principles.

The data used are intended to represent the US and the year 2017. Where representative data were unavailable, proxy data were used. The datasets used, their geographic region, and year of reference are listed for each entry. An effort was made to choose proxy datasets that are technologically consistent with the relevant entry.

Data quality and uncertainty

Uncertainty in results can stem from both the data used and their application. Data quality is judged by: its measured, calculated, or estimated precision; its completeness, such as unreported emissions; its consistency, or degree of uniformity of the methodology applied on a study serving as a data source; and geographical, temporal, and technological representativeness. The GaBi LCI databases have been used in LCA models worldwide in both industrial and scientific applications. These LCI databases have additionally been used both as internal and critically reviewed and published studies. Uncertainty introduced by the use of proxy data is reduced by using technologically, geographically, and/or temporally similar data. It is the responsibility of the modeler to appropriately apply the predefined material entries to the building under study.

System boundaries and delimitations

The analysis accounts for the full cradle to grave life cycle of the design options studied across all life cycle stages, including material manufacturing, maintenance and replacement, and eventual end of life. Optionally, the construction impacts and operational energy of the building can be included within the scope. Product stage impacts are excluded for materials and components indicated as existing or salvaged by the modeler. The modeler defines whether the boundary includes or excludes the flow of biogenic carbon, which is the carbon absorbed and generated by biological sources (e.g. trees, algae) rather than from fossil resources.

Architectural materials and assemblies include all materials required for the product's manufacturing and use including hardware, sealants, adhesives, coatings, and finishing. The materials are included up to a 1% cut-off factor by mass except for known materials that have high environmental impacts at low levels. In these cases, a 1% cut-off was implemented by impact.

Calculation Methodology

LIFE CYCLE STAGES

The following describes the scope and system boudaries used to define each stage of the life cycle of a building or building product, from raw material acquisition to final disposal. For products listed in Tally as Environmental Product Declarations (EPD), the full life cycle impacts are included, even if the published EPD only includes the Product stage [A1-A3].

Product [EN 15978 A1 - A3]

This encompasses the full manufacturing stage, including raw material extraction and processing, intermediate transportation, and final manufacturing and assembly. The product stage scope is listed for each entry, detailing any specific inclusions or exclusions that fall outside of the cradle to gate scope. Infrastructure (buildings and machinery) required for the manufacturing and assembly of building materials are not included and are considered outside the scope of assessment.

Transportation [EN 15978 A4]

This counts transportation from the manufacturer to the building site during the construction stage and can be modified by the modeler.

Construction Installation [EN 15978 A5] (Optional)

This includes the anticipated or measured energy and water consumed on-site during the construction installation process, as specified by the modeler.

Maintenance and Replacement [EN 15978 B2-B5]

This encompasses the replacement of materials in accordance with their expected service life. This includes the end of life treatment of the existing products as well as the cradle to gate manufacturing and transportation to site of the replacement products. The service life is specified separately for each product. Refurbishment of materials marked as existing or salvaged by the modeler is also included.

Operational Energy [EN 15978 B6] (Optional)

This is based on the anticipated or measured energy and natural gas consumed at the building site over the lifetime of the building, as indicated by the modeler.

End of Life [EN 15978 C2-C4]

This includes the relevant material collection rates for recycling, processing requirements for recycled materials, incineration rates, and landfilling rates. The impacts associated with landfilling are based on average material properties, such as plastic waste, biodegradable waste, or inert material. Stage C2 encompasses the transport from the construction site to end-of-life treatment based on national averages. Stages C3-C4 account for waste processing and disposal, i.e., impacts associated with landfilling or incineration.

Module D [EN 15978 D]

This accounts for reuse potentials that fall beyond the system boundary, such as energy recovery and recycling of materials. Along with processing requirements, the recycling of materials is modeled using an avoided burden approach, where the burden of primary material production is allocated to the subsequent life cycle based on the quantity of recovered secondary material. Incineration of materials includes credit for average US energy recovery rates.

PRODUCT	CONSTRUCTION	USE	END-OF-LIFE	MODULE D
A1. Extraction **A2. Transport (to factory)** **A3. Manufacturing**	**A4. Transport (to site)** ***A5. Construction Installation***	B1. Use **B2. Maintenance** **B3. Repair** **B4. Replacement** **B5. Refurbishment** ***B6. Operational energy*** B7. Operational water	C1. Demolition **C2. Transport (to disposal)** **C3. Waste processing** **C4. Disposal**	**D. Benefits and loads beyond the system boundary from:** **1. Reuse** **2. Recycling** **3. Energy recovery**

Life-Cycle Stages as defined by EN 15978. Processes included in Tally modeling scope are shown in bold. Italics indicate optional processes.

Calculation Methodology

ENVIRONMENTAL IMPACT CATEGORIES

A characterization scheme translates all emissions and fuel use associated with the reference flow into quantities of categorized environmental impact. As the degree that the emissions will result in environmental harm depends on regional ecosystem conditions and the location in which they occur, the results are reported as impact potential. Potential impacts are reported in kilograms of equivalent relative contribution (eq) of an emission commonly associated with that form of environmental impact (e.g. kg CO_2eq).

The following list provides a description of environmental impact categories reported according to the TRACI 2.1 characterization scheme, the environmental impact model developed by the US EPA to quantify environmental impact risk associated with emissions to the environment in the United States. TRACI is the standard environmental impact reporting format for LCA in North America. Impacts associated with land use change and fresh water depletion are not included in TRACI 2.1. For more information on TRACI 2.1, reference Bare 2010, EPA 2012, and Guinée 2001. For further description of measurement of environmental impacts in LCA, see Simonen 2014.

Acidification Potential (AP) kg SO_2eq

A measure of emissions that cause acidifying effects to the environment. The acidification potential is a measure of a molecule's capacity to increase the hydrogen ion (H^+) concentration in the presence of water, thus decreasing the pH value. Potential effects include fish mortality, forest decline, and the deterioration of building materials.

Eutrophication Potential (EP) kg Neq

A measure of the impacts of excessively high levels of macronutrients, the most important of which are nitrogen (N) and phosphorus (P). Nutrient enrichment may cause an undesirable shift in species composition and elevated biomass production in both aquatic and terrestrial ecosystems. In aquatic ecosystems, increased biomass production may lead to depressed oxygen levels caused by the additional consumption of oxygen in biomass decomposition.

Global Warming Potential (GWP) kg CO_2eq

A measure of greenhouse gas emissions, such as carbon dioxide and methane. These emissions are causing an increase in the absorption of radiation emitted by the earth, increasing the natural greenhouse effect. This may, in turn, have adverse impacts on ecosystem health, human health, and material welfare.

Ozone Depletion Potential (ODP) kg CFC-11eq

A measure of air emissions that contribute to the depletion of the stratospheric ozone layer. Depletion of the ozone leads to higher levels of UVB ultraviolet rays reaching the earth's surface with detrimental effects on humans and plants. As these impacts tend to be very small, ODP impacts can be difficult to calculate and are prone to a larger margin of error than the other impact categories.

Smog Formation Potential (SFP) kg O_3eq

A measure of ground level ozone, caused by various chemical reactions between nitrogen oxides (NO_x) and volatile organic compounds (VOCs) in sunlight. Human health effects can result in a variety of respiratory issues, including increasing symptoms of bronchitis, asthma, and emphysema. Permanent lung damage may result from prolonged exposure to ozone. Ecological impacts include damage to various ecosystems and crop damage.

Primary Energy Demand (PED) MJ (lower heating value)

A measure of the total amount of primary energy extracted from the earth. PED tracks energy resource use, not the environmental impacts associated with the resource use. PED is expressed in energy demand from non-renewable resources and from renewable resources. Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account when calculating this result.

Non-Renewable Energy Demand MJ (lower heating value)

A measure of the energy extracted from non-renewable resources (e.g. petroleum, natural gas, etc.) contributing to the PED. Non-renewable resources are those that cannot be regenerated within a human time scale. Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account when calculating this result.

Renewable Energy Demand MJ (lower heating value)

A measure of the energy extracted from renewable resources (e.g. hydropower, wind energy, solar power, etc.) contributing to the PED. Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account when calculating this result.

LCI Data

END-OF-LIFE [C2-C4]

A Life Cycle Inventory(LCI) is a compilation and quantification of inputs and outputs for the reference unit.The following LCI provides a summary of all energy, construction, transportation, and material inputs present in the study. Materials are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur, along with any notes and system boundaries accompanying their database entries. Each entry lists the detailed scope for the LCI data sources used from the GaBi LCI database and identifies the LCI data source.

For LCI data sourced from an Environmental Product Declaration (EPD), the product manufacturer, EPD identification number, and Program Operator are listed. Where the LCI source does not provide data for all life cycle stages, default North American average values are used. This is of particular importance for European EPD sources, as EPD data are generally only provided for the product stage, and North American average values are used for the remaining life cycle stages.

Where specific quantities are associated with a data entry, such as user inputs, energy values, or material mass, the quantity is listed on the same line as the title of the entry.

TRANSPORTATION [A4]

Default transportation values are based on the three-digit material commodity code in the 2012 Commodity Flow Survey by the US Department of Transportation Bureau of Transportation Statistics and the US Department of Commerce where more specific industry-level transportation is not available.

Transportation by Barge

Scope:
The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by barge.

LCI Source:
GLO: Average ship, 1500t payload capacity/ canal ts (2017)
US: Diesel mix at filling station ts (2014)

Transportation by Container Ship

Scope:
The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by container ship.

LCI Source:
GLO: Container ship, 27500 dwt payload capacity, ocean going ts (2017)
US: Heavy fuel oil at refinery (0.3wt.% S) ts (2014)

Transportation by Rail

Scope:
The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by cargo rail.

LCI Source:
GLO: Rail transport cargo - Diesel, average train, gross tonne weight 1000t / 726t payload capacity ts (2017)
US: Diesel mix at filling station ts (2014)

Transportation by Truck

Scope:
The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by diesel truck.

LCI Source:
US: Truck - Trailer, basic enclosed / 45,000 lb payload - 8b ts (2017)
US: Diesel mix at filling station ts (2014)

LCI Data (continued)

END-OF-LIFE [C2-C4]

Specific end-of-life scenarios are detailed for each entry based on the US construction and demolition waste treatment methods and rates in the 2016 WARM Model by the US Environmental Protection Agency except where otherwise specified. Heterogeneous assemblies are modeled using the appropriate methodologies for the component materials.

End-of-Life Landfill

Scope:

Materials for which no recycling or incineration rates are known, no recycling occurs within the US at a commercial scale, or which are unable to be recycled are landfilled. This includes glass, drywall, insulation, and plastics. The solids contents of coatings, sealants, and paints are assumed to go to landfill, while the solvents or water evaporate during installation. Where the landfill contains biodegradable material, the energy recovered from landfill gas utilization is reflected as a credit in Module D.

LCI Source:

US: Glass/inert on landfill ts (2017)
US: Biodegradable waste on landfill, post-consumer ts (2017)
US: Plastic waste on landfill, post-consumer ts (2017)

Concrete End-of-Life

Scope:

Concrete (or other masonry products) are recycled into aggregate or general fill material or they are landfilled. It is assumed that 55% of the concrete is recycled. Module D accounts for both the credit associated with off-setting the production aggregate and the burden of the grinding energy required for processing.

LCI Source:

US: Diesel mix at refinery ts (2014)
GLO: Fork lifter (diesel consumption) ts (2016)
EU - 28 Gravel 2/32 ts (2017)
US: Glass/inert on landfill ts (2017)

Metals End-of-Life

Scope:

Metal products are modeled using the avoided burden approach. The recycling rate at end of life is used to determine how much secondary metal can be recovered after having subtracted any scrap input into manufacturing (net scrap). Net scrap results in an environmental credit in Module D for the corresponding share of the primary burden that can be allocated to the subsequent product system using secondary material as an input. If the value in Module D reflects an environmental burden, then the original product (A1-A3) contains more secondary material than is recovered.

LCI Source:

Aluminum - RNA: Primary Aluminum Ingot AA/ts (2010)
Aluminum - RNA: Secondary Aluminum Ingot AA/ts (2010)
Brass - GLO: Zinc mix ts (2012)
Brass - GLO: Copper (99.99% cathode) ICA (2013)
Brass - EU-28: Brass (CuZn20) ts (2017)
Copper - DE: Recycling potential copper sheet ts (2016)
Steel - GLO: Value of scrap worldsteel (2014)
Zinc - GLO: Special high grade zinc IZA (2012)

Wood End-of-Life

Scope:

End of Life waste treatment methods and rates for wood are based on the 2014 Municipal Solid Waste and Construction Demolition Wood Waste Generation and Recovery in the United States report by Dovetail Partners, Inc. It is assumed that 63.5% of wood is sent to landfill, 22% to incineration, and 14.5% to recovery.

LCI Source:

US: Untreated wood in waste incineration plant ts (2017)
US: Wood product (OSB, particle board) waste in waste incineration plant ts (2017)
US: Wood products (OSB, particle board) on landfill, post-consumer ts (2017)
US: Untreated wood on landfill, post-consumer ts (2017)
RNA: Softwood lumber CORRIM (2011)

LCI Data

PRODUCT [A1-A3]

Materials and components are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur. The masses given here refer to the quantity of each material used over the building's life-cycle, which includes both Product [A1-A3] and Use [B2-B5] stages.

Additional provided data describing scope boundaries for each life cycle stage may be useful for interpretation of the impacts associated with the specific material or component. Each material or component is listed with its service life, or period of time after installation it is expected to meet the service requirements prior to replacement or repair. This value is indicated in parentheses next to the mass of the material associated with the listed Revit family. Values for transportation distance or service life shown with an asterisk (*) indicate user-defined changes to default values. Values for service life shown with a dagger (†) indicate materials identified by the modeler as existing or salvaged.

CLT (Cross laminated timber) **5.131,3 kg**

Used in the following Revit families:
Ahsap Doseme 5.131,3 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Cross laminated timber (CLT)

Description:
Engineered wood panel made of several layers of kiln-dried lumber stacked in alternating directions, bonded with structural adhesives, and pressed to form a solid rectangular panel.

Life Cycle Inventory:
Proxied by Glulam

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 40 km*

End-of-Life Scope:
14.5% Recovered
22% Incinerated with energy recovery
63.5% Landfilled (wood product waste)

Module D Scope:
Recovered wood products credited as avoided burden.

LCI Source:
RNA: Glue laminated timbers CORRIM (2011)

Contruction steel, light structural shapes, CMC - EPD **1.041,0 kg**

Used in the following Revit families:
SHS-Square Hollow Section-Column 1.041,0 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Steel, HSS section

Description:
Light structural steel shapes by Commercial Metals Company. Appropriate for use in a structural capacity. EPD representative of conditions in the US.

Life Cycle Inventory:
For information and quantities, see EPD

Product Scope:
Cradle-to-gate

Transportation Distance:
By truck: 40 km*

End-of-Life Scope:
98% Recovered
2% Landfilled (inert material)

Module D Scope:
Product has 100% scrap input, burden reflects difference between recovered material and scrap input. Credit given for the avoided burden associated with recovered material.

LCI Source:
EPD (US), Commercial Metals Company (2015)

EPD Source:
EPD-015

EPD Designation Holder:
Commercial Metals Company (CMC)

EPD Program Operator:
ASTM International

EPD Expiration:
1.09.2020

Glue laminated timber (Glulam), AWC - EPD **4.620,7 kg**

Used in the following Revit families:
M_Glulam-Southern Pine 2.955,5 kg (60 yrs)
M_Glulam-Southern Pine-Column 1.665,2 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Glue laminated timber (Glulam)

Description:
Architectural grade structural glue-laminated timber (Glulam), an engineered wood product manufactured from end-joined, laminated, and planed lumber pressure-treated with resins. Typically used for beams, headers, columns, and arches. Entry inclusive of factory applied sealer. Industry-wide EPD from the American Wood Council.

Life Cycle Inventory:
For information and quantities, see EPD

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 40 km*

End-of-Life Scope:
14.5% Recovered
22% Incinerated with energy recovery
63.5% Landfilled (wood product waste)

Module D Scope:
Recovered wood products credited as avoided burden.

LCI Source:
RNA: Glue laminated timbers CORRIM (2011)

EPD Source:
13CA24184.104.1

EPD Designation Holder:
American Wood Council and Canadian Wood Council

EPD Program Operator:
UL Environment

EPD Expiration:
16.04.2019

Hot rolled structural steel, AISC - EPD **7.138,5 kg**

Used in the following Revit families:
IPN 7.138,5 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Steel, IPN section

Description:
Hot rolled structural steel. Industry-wide EPD from the American Institute of Steel Construction.

Life Cycle Inventory:
For information and quantities, see EPD

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 40 km*

End-of-Life Scope:
98% Recovered
2% Landfilled (inert material)

Module D Scope:
Product has 100% scrap input, burden reflects difference between recovered material and scrap input

LCI Source:
RNA: Hot rolled structural steel sections AISC (2010)

EPD Source:
4786979051.102.1

EPD Designation Holder:
American Institute of Steel Construction

EPD Program Operator:
UL Environment

LCI Data (continued)

EPD Expiration:
31.03.2021

Steel, reinforcing rod **4.092,1 kg**

Used in the following Revit families:

Betonarme Doseme	914,8 kg (60 yrs)
Celik Doseme	914,2 kg (60 yrs)
Kolon	593,5 kg (60 yrs)
M_Concrete-Rectangular Beam	1.669,6 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Cast-in-place concrete, structural concrete, 3000 psi

Description:
Common unfinished tempered steel rod suitable for structural reinforcement (rebar)

Life Cycle Inventory:
100% Steel rebar

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 40 km*

End-of-Life Scope:
70% Recovered
30% Landfilled (inert material)

Module D Scope:
Product has a 16.4% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden.

LCI Source:
GLO: Steel rebar worldsteel (2014)

Structural concrete, 3000 psi, National regional average **72.099,6 kg**

Used in the following Revit families:

Betonarme Doseme	24.183,4 kg (60 yrs)
Celik Doseme	24.169,6 kg (60 yrs)
Kolon	6.227,2 kg (60 yrs)
M_Concrete-Rectangular Beam	17.519,5 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Cast-in-place concrete, structural concrete, 3000 psi

Description:
Structural concrete, 3000 psi, National regional average. Mix design matches National Ready-Mix Concrete Association (NRMCA) Industry-wide EPD.

Life Cycle Inventory:
Coarse aggregate: 43%, Sand: 37%, Portland cement PCA - EPD: 10%, Water: 8%, Fly ash: 2%, Expanded slag: <1%, Admixture: <1%

Product Scope:
Cradle to gate
Anchors, ties, and metal accessories outside of scope (<1% mass)

Transportation Distance:
By truck: 40 km*

End-of-Life Scope:
55% Recycled into coarse aggregate
45% Landfilled (inert material)

Module D Scope:
Avoided burden credit for coarse aggregate, includes grinding energy

LCI Source:
US: Portland cement PCA/ts (2014)
DE: Pumice gravel (grain size 4/16) (EN15804 A1-A3) ts (2017)
DE: Gravel (Grain size 2/32) (EN15804 A1-A3) s (2017)
DE: Fly ash (EN15804 A1-A3) ts (2017)
DE: Slag-tap granulate (EN15804 A1-A3) ts (2017)
DE: Expanded clay (EN15804 A1-A3) ts (2017)
DE: alcium nitrate ts (2017)
DE: Sodium ligninsulfonate ts (2017)
DE: Sodium naphtalene sulfonate [estimated] ts (2017)
US: Sodium hydroxide (caustic soda) ix (100%) ts (2017)
US: Colophony (rosin, refined) from CN pine gum rosin ts (2017)
US: Tap water from groundwater ts (2017)
US: Electricity grid mix s (2014)
US: Natural gas mix ts (2014)
US: Diesel mix at filling station (100% fossil) ts (2014)
US: Liquefied Petroleum Gas (LPG) (70% propane
30% utane) ts (2014)
US: Light fuel oil at refinery ts (2014)

B
ONE CLICK LCA SONUÇ RAPORLARI

Betonarme Strüktür Sonuç Raporu

Betonarme Struktur - Life-cycle assessment, EN-15978 Project basic information

Result report: Betonarme Struktur

Project	Örnek Proje - Betonarme Struktur
User	Ecem Kosurgeli - 15.06.2022
Tool	Life-cycle assessment, EN-15978
Details	Building life-cycle assessment according to the European Standard EN 15978. This LCA software covers life cycle stages from cradle to grave with separate reporting to product stage, construction process, use stage, operational energy, and end of life. This LCA software and related datasets are compliant with ISO 14040/14044 or EN 15804. It is compliant with the Active House Specification requirements.

General information

Type	Apartment buildings
Country	Turkey
Address	İstanbul
Gross Floor Area (m²)	67
Number of above ground floors	1

73 Tons CO_2e

18.22 kg CO_2e / m^2 / year

3 663 € Social cost of carbon

Carbon Heroes Benchmark

Embodied carbon benchmark

Cradle to grave (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO_2e/m^2
(< 280) A	152
(280-360) B	
(360-440) C	
(440-520) D	
(520-600) E	
(600-680) F	
(> 680) G	

CH Q3 2021 Global - apartment

Download as image

Life-cycle assessment results

Download Results Summary

	Result category	Global warming kg CO_2e	Acidification kg SO_2e	Eutrophication kg PO_4e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Total use of primary energy ex. raw materials MJ	Biogenic carbon storage kg CO_2e bio	
A1-A3	Construction Materials	9,923E3	3,089E1	4,93E0	1,202E–4	1,57E0	7,581E4	0E0	Details
⊞ A4	Transportation to site	2,697E2	3,941E–1	8,048E–2	4,543E–5	4,045E–2	4,107E3		Details
A5	Construction/installation process	1,243E3	2,109E0	4,893E–1	2,063E–4	1,926E–1	3,123E4		Details
B1-B5	Maintenance and material replacement								Hide empty
B6	Energy use	5,932E4	4,324E2	1,02E2	1,672E–3	1,478E1	8,799E5		Details
B7	Water use	2,497E3	1,352E1	6,839E0	2,726E–4	6,082E–1	5,278E4		Details
⊞ C1-C4	End of life								Hide empty
⊞ D	External impacts (not included in totals)								Hide empty
	Total	**7,325E4**	**4,793E2**	**1,143E2**	**2,316E–3**	**1,719E1**	**1,044E6**	**0E0**	
	Results per denominator								
	Gross Internal Floor Area (IPMS/RICS) 67.0 m^2	1,093E3	7,154E0	1,706E0	3,457E–5	2,566E–1	1,558E4	0E0	

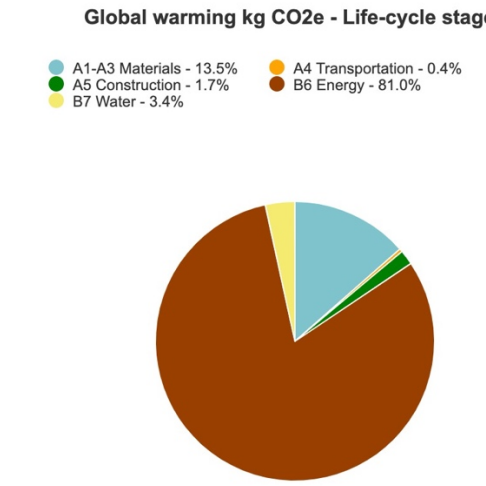
Completeness (-) and plausibility checker (grade: C)

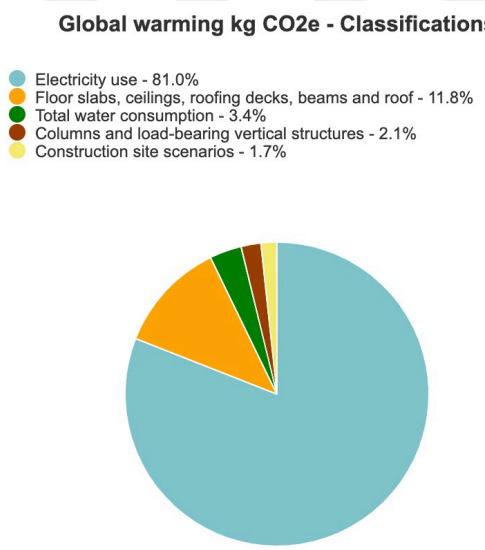
Most contributing materials (Global warming)

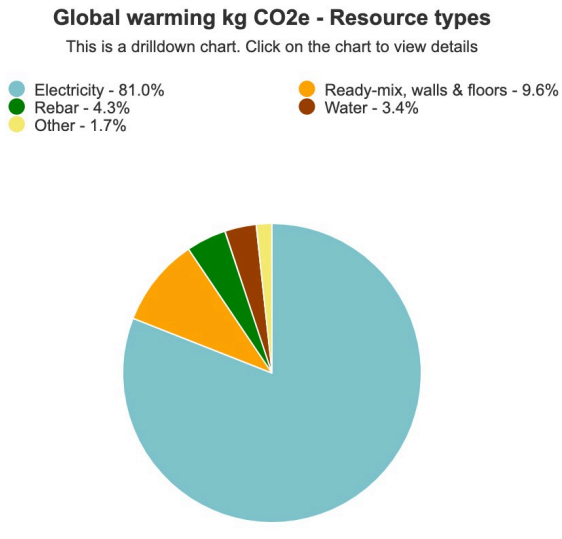
Compare data

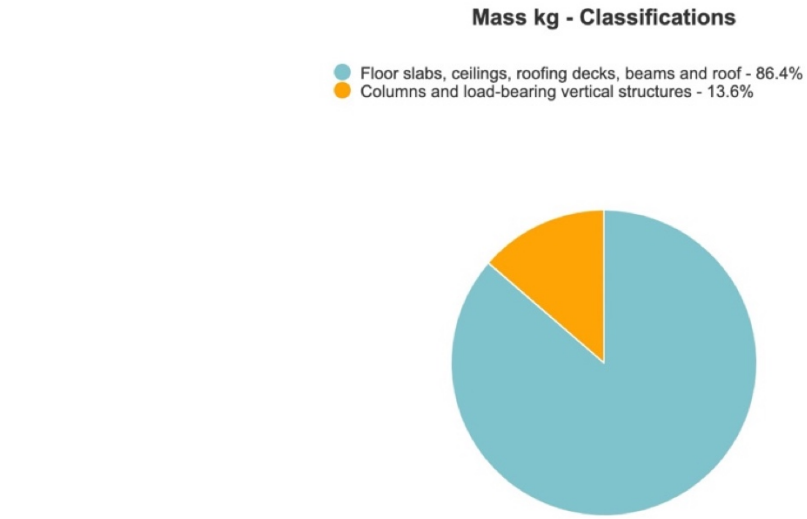
No.	Resource	Cradle to gate impacts (A1-A3)	Of cradle to gate (A1-A3)	Sustainable alternatives	
1.	Ready-mix concrete, normal-strength, generic	6,8 tons CO_2e	68.1 %	Show sustainable alternatives	Add to compare
2.	Carbon Steel Reinforcing Bar (secondary production route – scrap)	3,2 tons CO_2e	31.9 %	Show sustainable alternatives	Add to compare

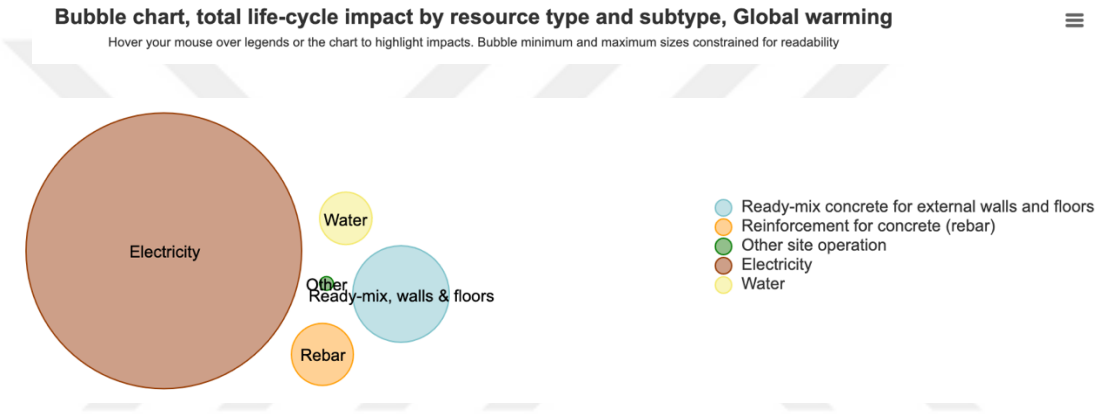
Sonuç raporundaki grafikler, ilgili strüktürün Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) örneği üzerinden elde edilmiştir. Dijital araç ile belirtilen etki kategorisi dışında diğer tüm etki kategorileri kapsamında sonuç raporları elde edilebilir.

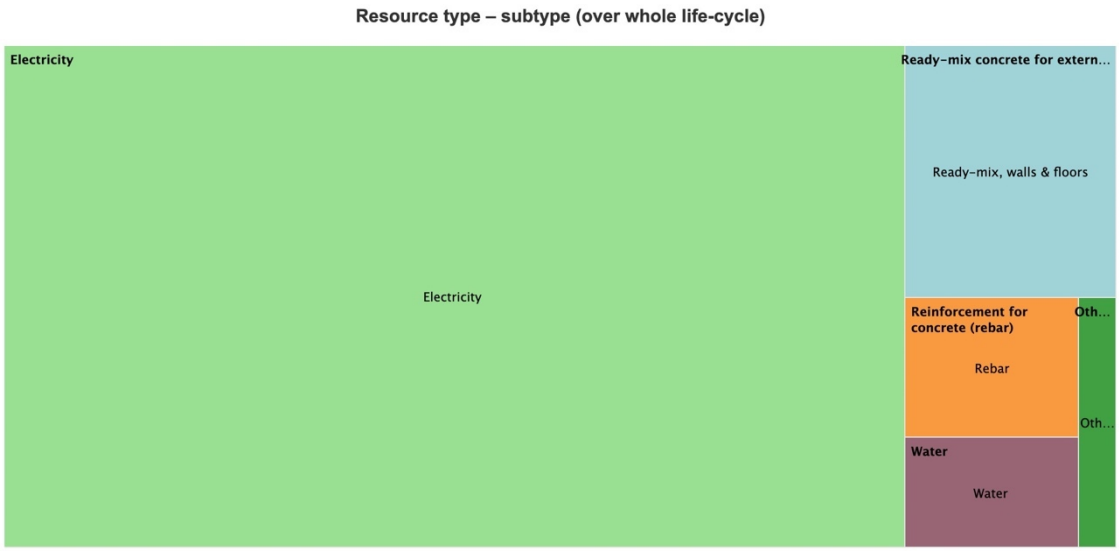


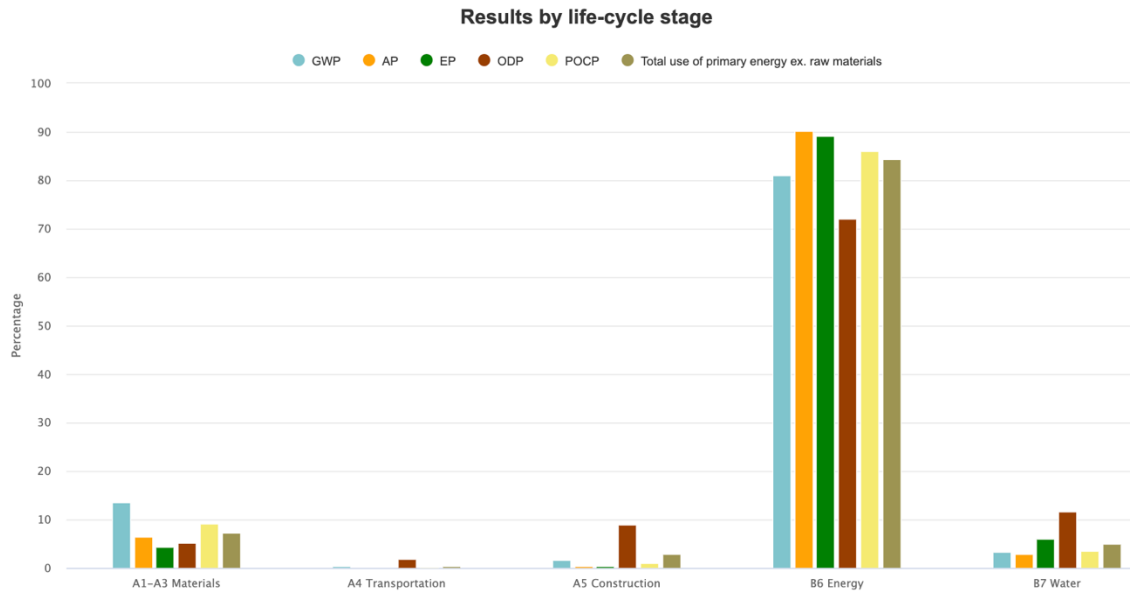


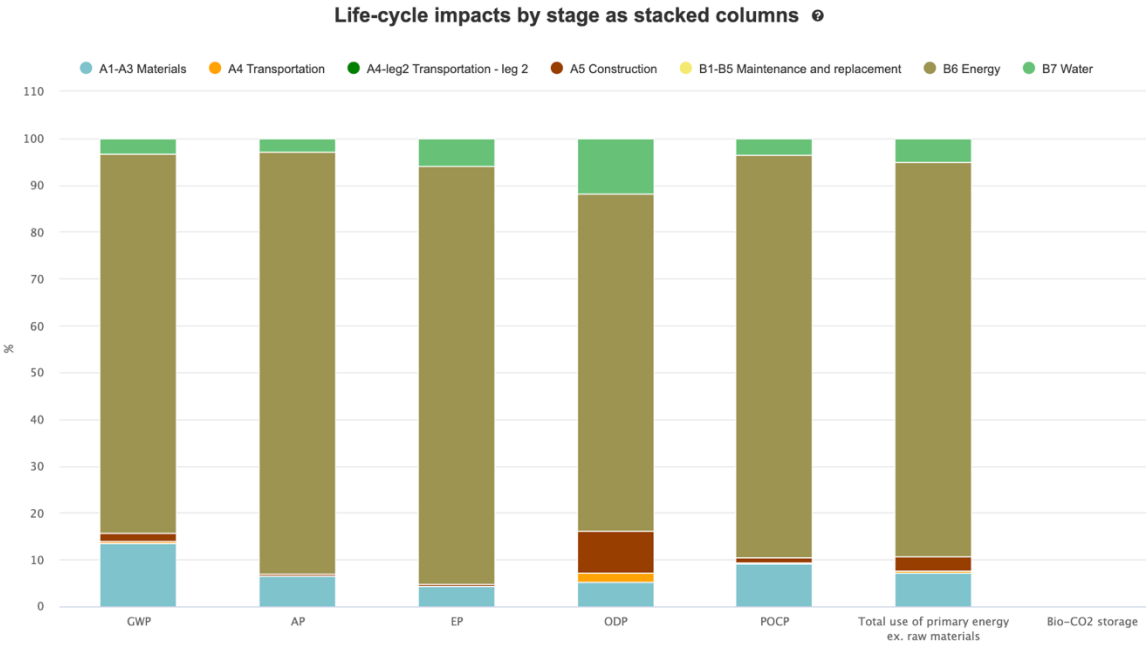



Mass kg - Classifications
Floor slabs, ceilings, roofing decks, beams and roof - 86.4%
Columns and load-bearing vertical structures - 13.6%

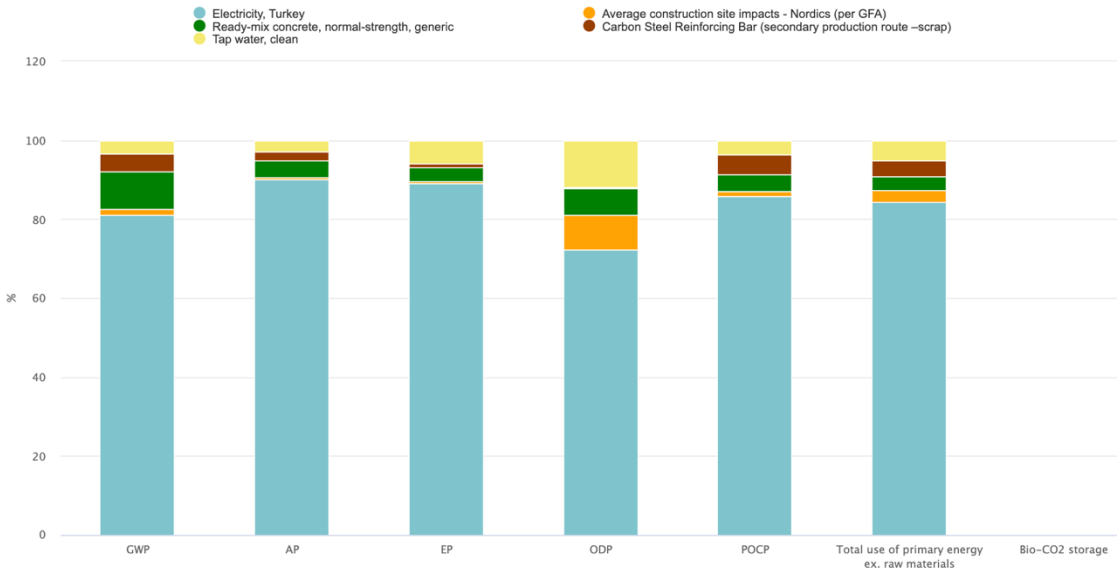

Bubble chart, total life-cycle impact by resource type and subtype, Global warming
Hover your mouse over legends or the chart to highlight impacts. Bubble minimum and maximum sizes constrained for readability
Electricity
Water
Other
Ready-mix, walls & floors
Rebar
Ready-mix concrete for external walls and floors
Reinforcement for concrete (rebar)
Other site operation
Electricity
Water


Resource type – subtype (over whole life-cycle)
Electricity
Electricity
Ready-mix concrete for extern...
Ready-mix, walls & floors
Reinforcement for concrete (rebar)
Rebar
Oth...
Oth...
Water
Water


Results by life-cycle stage
GWP
AP
EP
ODP
POCP
Total use of primary energy ex. raw materials
Percentage
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
A1–A3 Materials
A4 Transportation
A5 Construction
B6 Energy
B7 Water


Life-cycle impacts by stage as stacked columns
A1-A3 Materials
A4 Transportation
A4-leg2 Transportation - leg 2
A5 Construction
B1-B5 Maintenance and replacement
B6 Energy
B7 Water
%
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
GWP
AP
EP
ODP
POCP
Total use of primary energy ex. raw materials
Bio-CO2 storage

Life-cycle impacts by material as stacked columns



Data sources

Sources

Resource name	Technical specification	Product	Manufacturer	EPD program	EPD number	Environment Data Source	Standard
Carbon Steel Reinforcing Bar (secondary production route – scrap)	E 200 kN/mm2, YS min 0.5 kN/mm2, TS 0.54 kN/mm2		Diler Demir Celik Endustri ve Ticaret A.S.	BRE	BREG EN EPD000129	BREGENEPD000129	EN15804+A1
Electricity, Turkey				One Click LCA		LCA study for country specific electricity mixes based on IEA, OneClickLCA 2022	
Ready-mix concrete, normal-strength, generic	C30/37 (4400/5400 PSI), 0% recycled binders in cement (300 kg/m3 / 18.72 lbs/ft3)			One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1

Çelik Strüktür Sonuç Raporu

Celik Struktur - Life-cycle assessment, EN-15978

Project basic information

Result report: Celik Struktur

Project	Örnek Proje - Celik Struktur
User	Ecem Kosurgeli - 15.06.2022
Tool	Life-cycle assessment, EN-15978
Details	Building life-cycle assessment according to the European Standard EN 15978. This LCA software covers life cycle stages from cradle to grave with separate reporting to product stage, construction process, use stage, operational energy, and end of life. This LCA software and related datasets are compliant with ISO 14040/14044 or EN 15804. It is compliant with the Active House Specification requirements.

General information

Type	Apartment buildings
Country	Turkey
Address	İstanbul
Gross Floor Area (m²)	67
Number of above ground floors	1

95 Tons CO_2e | **23.51 kg CO_2e / m^2 / year** | **4 725 € Social cost of carbon**

Carbon Heroes Benchmark

Embodied carbon benchmark

Cradle to grave (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO_2e/m^2
(< 280) A	
(280-360) B	
(360-440) C	
(440-520) D	469
(520-600) E	
(600-680) F	
(> 680) G	

CH Q3 2021 Global - apartment

Download as image

Life-cycle assessment results

Download Results Summary

	Result category	Global warming kg CO_2e	Acidification kg SO_2e	Eutrophication kg PO_4e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Total use of primary energy ex. raw materials MJ	Biogenic carbon storage kg CO_2e bio	
A1-A3	Construction Materials	3,13E4	1,254E2	2,198E1	1,672E–3	1,632E1	4,474E5	0E0	Details
⊞ A4	Transportation to site	1,419E2	2,467E–1	5,117E–2	2,426E–5	2,011E–2	2,327E3		Details
A5	Construction/installation process	1,243E3	2,109E0	4,893E–1	2,063E–4	1,926E–1	3,123E4		Details
B1-B5	Maintenance and material replacement								Hide empty
B6	Energy use	5,932E4	4,324E2	1,02E2	1,672E–3	1,478E1	8,799E5		Details
B7	Water use	2,497E3	1,352E1	6,839E0	2,726E–4	6,082E–1	5,278E4		Details
⊞ C1-C4	End of life								Hide empty
⊞ D	External impacts (not included in totals)								Hide empty
	Total	**9,45E4**	**5,737E2**	**1,313E2**	**3,847E–3**	**3,192E1**	**1,414E6**	**0E0**	
	Results per denominator								
	Gross Internal Floor Area (IPMS/RICS) 67.0 m^2	1,41E3	8,562E0	1,96E0	5,741E–5	4,764E–1	2,11E4	0E0	

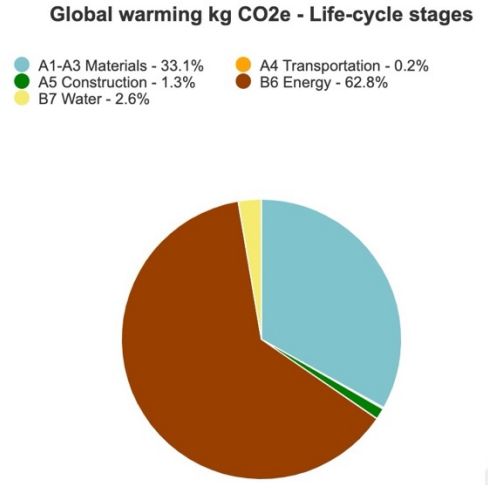
Completeness (%) and plausibility checker (-)

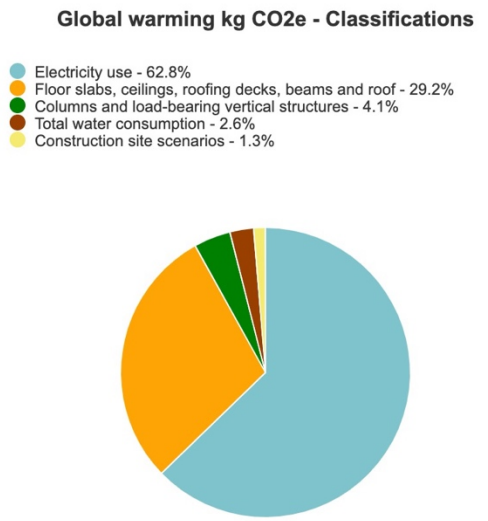
Most contributing materials (Global warming)

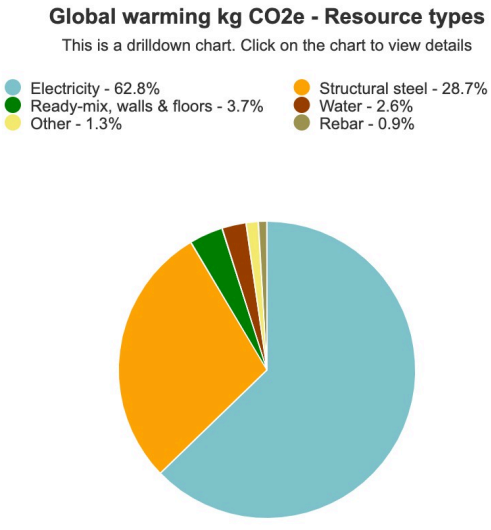
Compare data

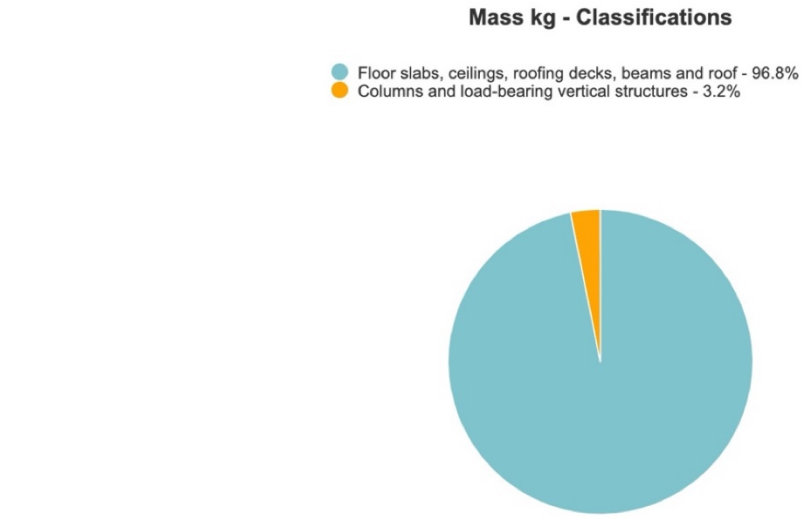
No.	Resource	Cradle to gate impacts (A1-A3)	Of cradle to gate (A1-A3)	Sustainable alternatives	
1.	Structural steel profiles, generic ?	23 tons CO_2e	74.2 %	Show sustainable alternatives	Add to compare
2.	Structural hollow steel sections (HSS), cold rolled, generic ?	3,9 tons CO_2e	12.4 %	Show sustainable alternatives	Add to compare
3.	Ready-mix concrete, normal-strength, generic ?	3,3 tons CO_2e	10.6 %	Show sustainable alternatives	Add to compare
4.	Carbon Steel Reinforcing Bar (secondary production route – scrap) ?	0,88 tons CO_2e	2.8 %	Show sustainable alternatives	Add to compare

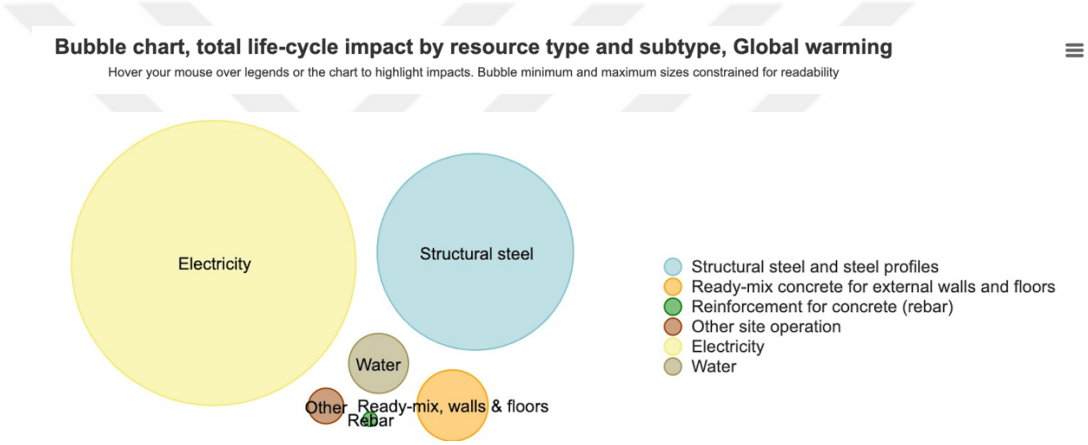
Sonuç raporundaki grafikler, ilgili strüktürün Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) örneği üzerinden elde edilmiştir. Dijital araç ile belirtilen etki kategorisi dışında diğer tüm etki kategorileri kapsamında sonuç raporları elde edilebilir.

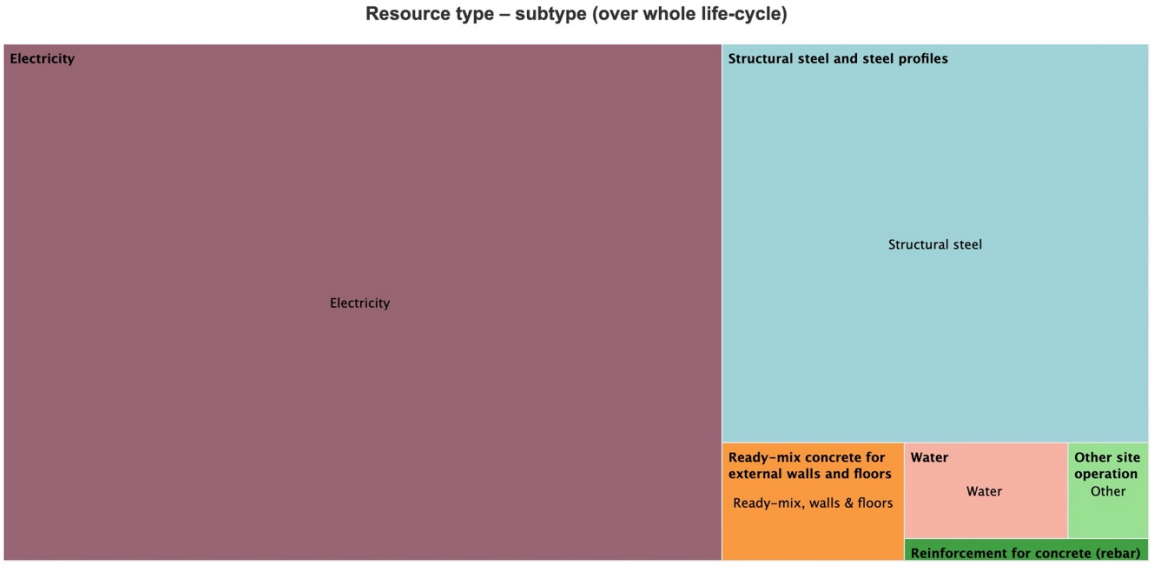


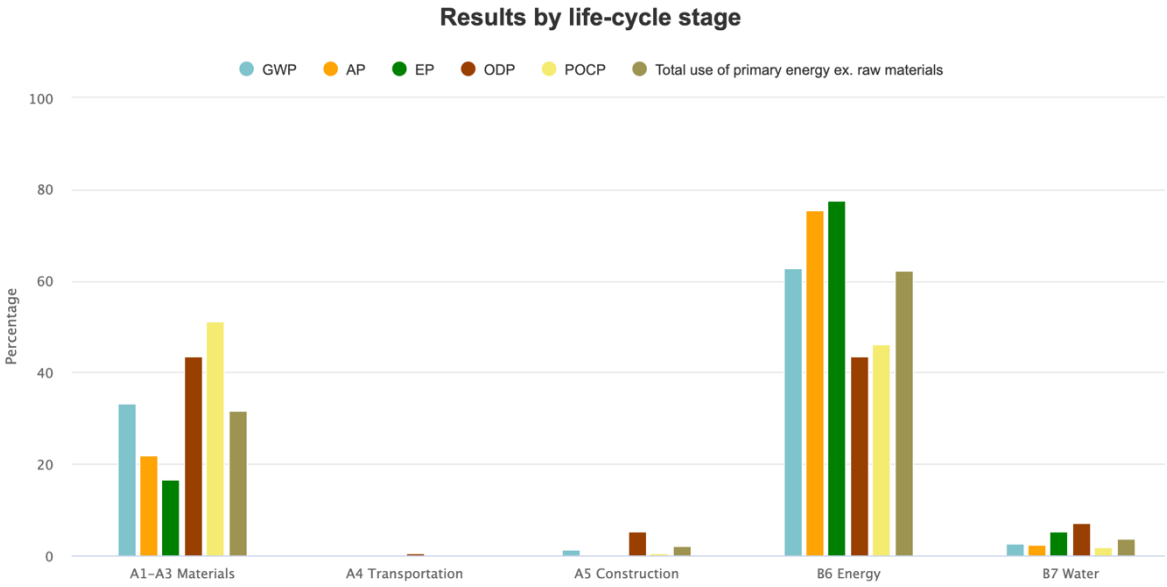


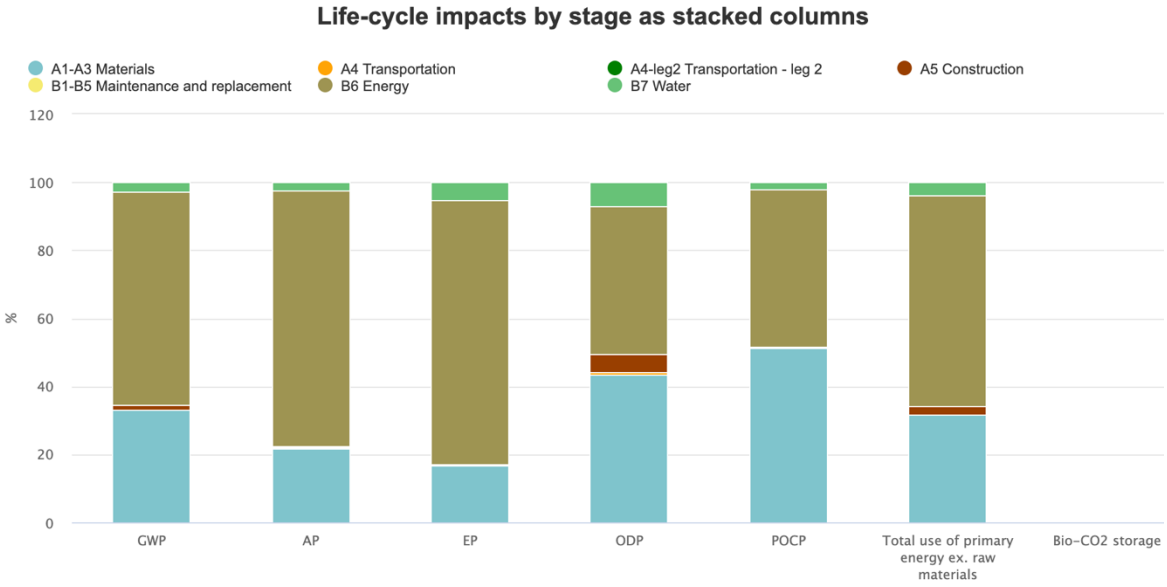


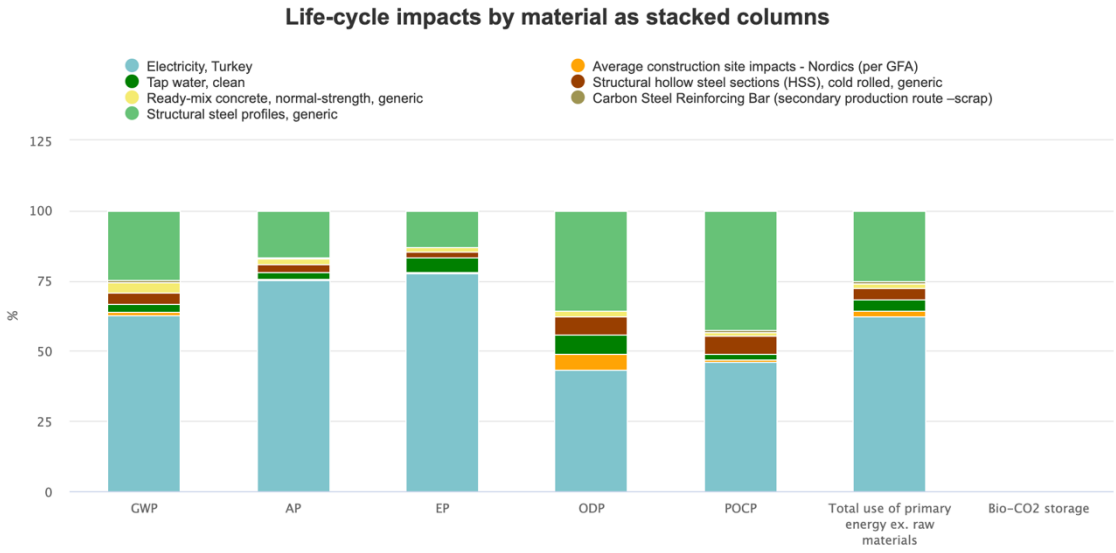

Mass kg - Classifications
Floor slabs, ceilings, roofing decks, beams and roof - 96.8%
Columns and load-bearing vertical structures - 3.2%


Bubble chart, total life-cycle impact by resource type and subtype, Global warming
Hover your mouse over legends or the chart to highlight impacts. Bubble minimum and maximum sizes constrained for readability
Electricity
Structural steel
Water
Other
Rebar
Ready-mix, walls & floors
Structural steel and steel profiles
Ready-mix concrete for external walls and floors
Reinforcement for concrete (rebar)
Other site operation
Electricity
Water


Resource type – subtype (over whole life-cycle)
Electricity
Electricity
Structural steel and steel profiles
Structural steel
Ready-mix concrete for external walls and floors
Ready-mix, walls & floors
Water
Water
Other site operation
Other
Reinforcement for concrete (rebar)


Results by life-cycle stage
GWP
AP
EP
ODP
POCP
Total use of primary energy ex. raw materials
Percentage
100
80
60
40
20
0
A1–A3 Materials
A4 Transportation
A5 Construction
B6 Energy
B7 Water


Life-cycle impacts by stage as stacked columns
A1-A3 Materials
A4 Transportation
A4-leg2 Transportation - leg 2
A5 Construction
B1-B5 Maintenance and replacement
B6 Energy
B7 Water
120
100
80
60
40
20
0
%
GWP
AP
EP
ODP
POCP
Total use of primary energy ex. raw materials
Bio-CO2 storage



Resource name	Technical specification	Product	Manufacturer	EPD program	EPD number	Environment Data Source	Standard
Carbon Steel Reinforcing Bar (secondary production route – scrap)	E 200 kN/mm2, YS min 0.5 kN/mm2, TS 0.54 kN/mm2		Diler Demir Celik Endustri ve Ticaret A.S.	BRE	BREG EN EPD000129	BREGENEPD000129	EN15804+A1
Electricity, Turkey				One Click LCA		LCA study for country specific electricity mixes based on IEA, OneClickLCA 2022	
Ready-mix concrete, normal-strength, generic	C30/37 (4400/5400 PSI), 0% recycled binders in cement (300 kg/m3 / 18.72 lbs/ft3)			One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1
Structural hollow steel sections (HSS), cold rolled, generic	10 % recycled content, circular, square and rectangular profiles, S235, S275 and S355			One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1
Structural steel profiles, generic	0% recycled content (only virgin materials), I, H, U, L, and T sections, S235, S275 and S355			One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1

Çağdaş Ahşap Strüktür Sonuç Raporu

Ahsap Struktur - Life-cycle assessment, EN-15978

Project basic information

Result report: Ahsap Struktur

Project	Örnek Proje - Ahsap Struktur
User	Ecem Kosurgeli - 15.06.2022
Tool	Life-cycle assessment, EN-15978
Details	Building life-cycle assessment according to the European Standard EN 15978. This LCA software covers life cycle stages from cradle to grave with separate reporting to product stage, construction process, use stage, operational energy, and end of life. This LCA software and related datasets are compliant with ISO 14040/14044 or EN 15804. It is compliant with the Active House Specification requirements.

General information

Type	Apartment buildings
Country	Turkey
Address	İstanbul
Gross Floor Area (m²)	67
Number of above ground floors	1

66 Tons CO_2e

16.45 kg CO_2e / m^2 / year

3 306 € Social cost of carbon

Carbon Heroes Benchmark

Embodied carbon benchmark

CH Q3 2021 Global - apartment

Download as image

Results

Life-cycle assessment results

Download Results Summary

	Result category	Global warming kg CO_2e	Acidification kg SO_2e	Eutrophication kg PO_4e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Total use of primary energy ex. raw materials MJ	Biogenic carbon storage kg CO_2e bio	
A1-A3	Construction Materials	3,05E3	2,28E1	1,77E1	2,6E−4	3,36E0	3,92E5	1,65E4	Details
⊞ A4	Transportation to site	1,42E1	6,52E−2	1,42E−2	2,8E−6	7,99E−4	4,03E2		
A5	Construction/installation process	1,24E3	2,11E0	4,89E−1	2,06E−4	1,93E−1	3,12E4		Details
B1-B5	Maintenance and material replacement								Hide empty
B6	Energy use	5,93E4	4,32E2	1,02E2	1,67E−3	1,48E1	8,8E5		Details
B7	Water use	2,5E3	1,35E1	6,84E0	2,73E−4	6,08E−1	5,28E4		Details
⊞ C1-C4	End of life								Hide empty
⊞ D	External impacts (not included in totals)								Hide empty
	Total	**6,61E4**	**4,71E2**	**1,27E2**	**2,41E−3**	**1,89E1**	**1,36E6**	**1,65E4**	
	Results per denominator								
	Gross Internal Floor Area (IPMS/RICS) 67.0 m^2	9,87E2	7,03E0	1,9E0	3,6E−5	2,83E−1	2,02E4	2,46E2	

Completeness (-) and plausibility checker (grade: F)

Most contributing materials (Global warming)

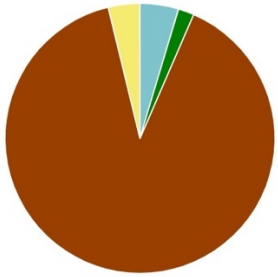
Compare data

No.	Resource	Cradle to gate impacts (A1-A3)	Of cradle to gate (A1-A3)	Sustainable alternatives	
1.	Cross laminated timber (CLT) ?	1,6 tons CO_2e	52.8 %	Show sustainable alternatives	Add to compare
2.	Glue laminated timber ?	1,4 tons CO_2e	47.2 %	Show sustainable alternatives	Add to compare

Sonuç raporundaki grafikler, ilgili strüktürün Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) örneği üzerinden elde edilmiştir. Dijital araç ile belirtilen etki kategorisi dışında diğer tüm etki kategorileri kapsamında sonuç raporları elde edilebilir.

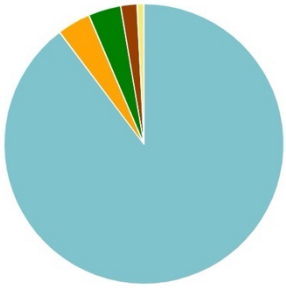
Global warming kg CO2e - Life-cycle stages

A1-A3 Materials - 4.6%
A4 Transportation - 0.0%
A5 Construction - 1.9%
B6 Energy - 89.7%
B7 Water - 3.8%



Global warming kg CO2e - Classifications

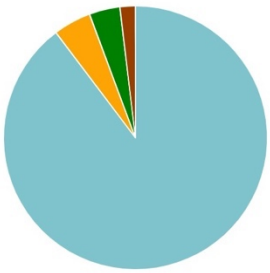
Electricity use - 89.7%
Floor slabs, ceilings, roofing decks, beams and roof - 3.8%
Total water consumption - 3.8%
Construction site scenarios - 1.9%
Columns and load-bearing vertical structures - 0.8%

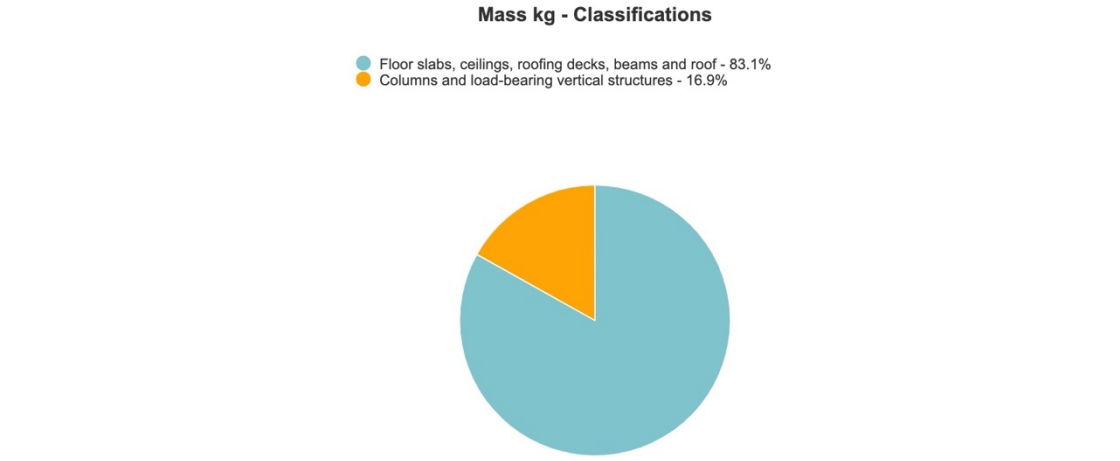


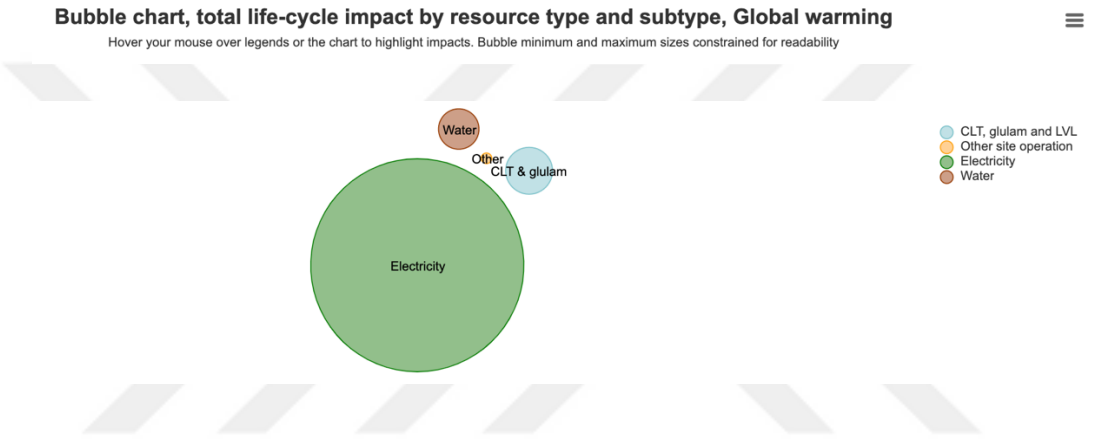
Global warming kg CO2e - Resource types

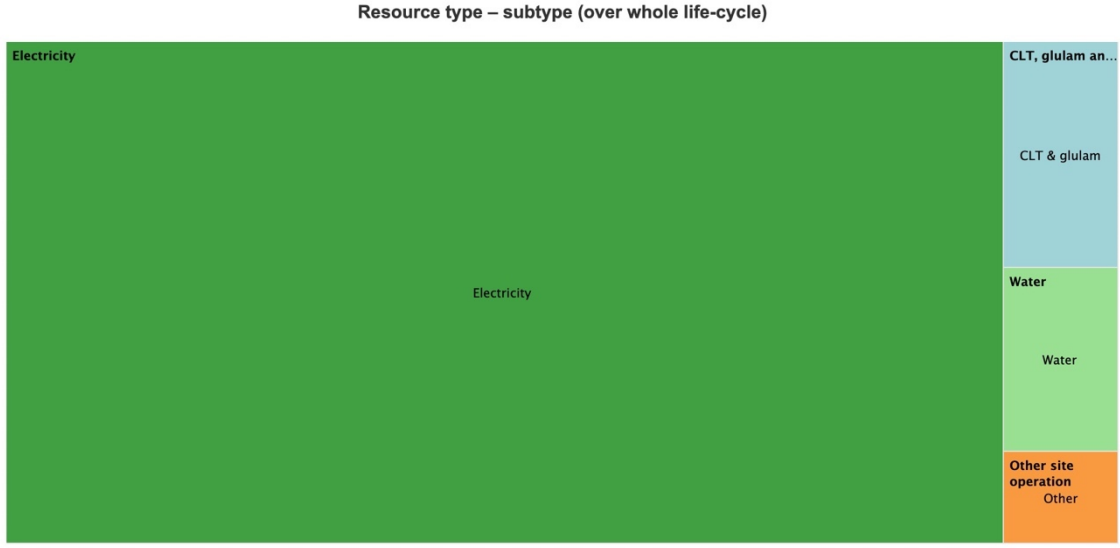
This is a drilldown chart. Click on the chart to view details

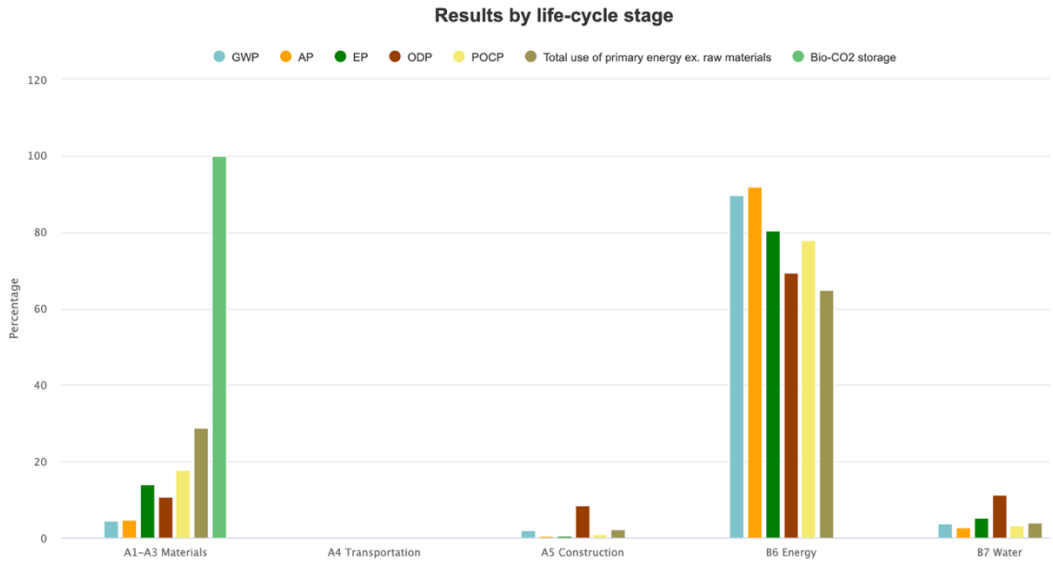
Electricity - 89.7%
CLT & glulam - 4.6%
Water - 3.8%
Other - 1.9%

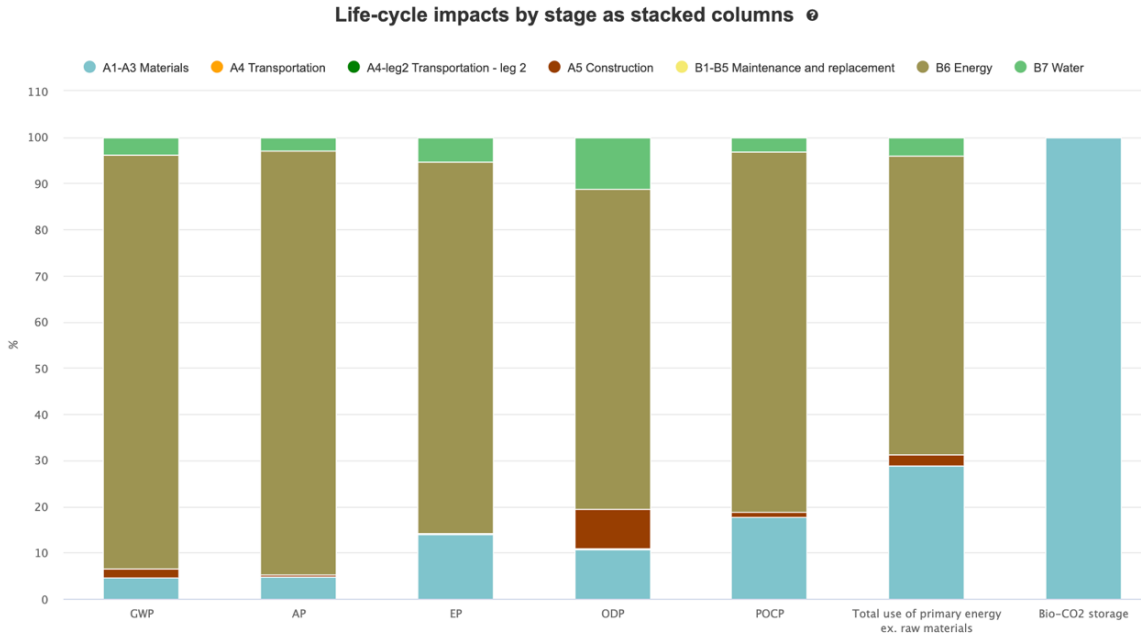



Mass kg - Classifications
Floor slabs, ceilings, roofing decks, beams and roof - 83.1%
Columns and load-bearing vertical structures - 16.9%

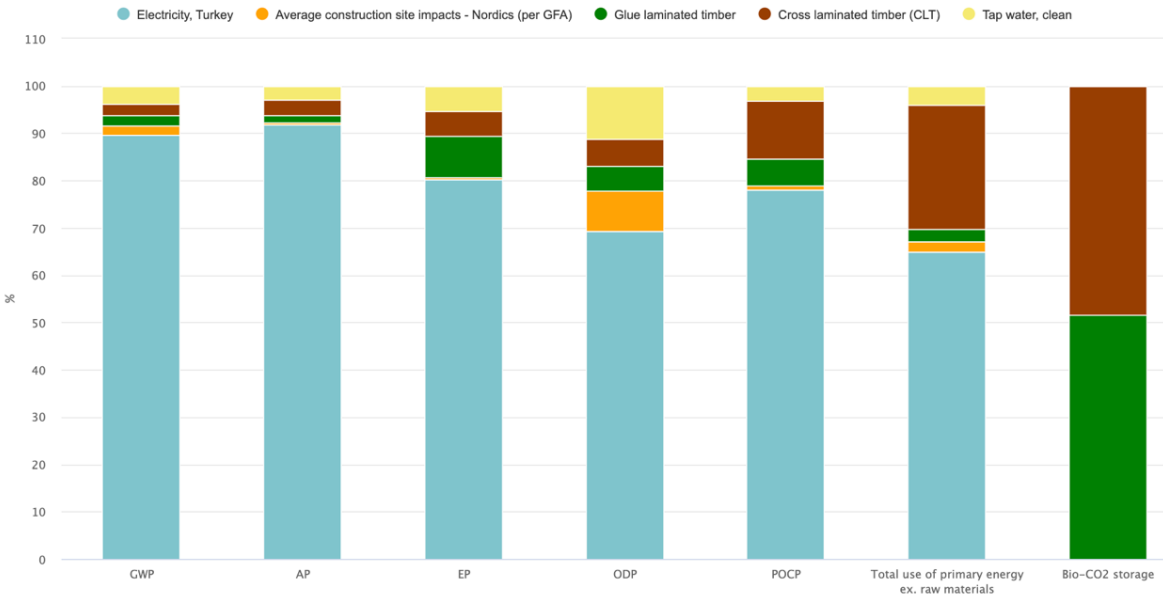

Bubble chart, total life-cycle impact by resource type and subtype, Global warming
Hover your mouse over legends or the chart to highlight impacts. Bubble minimum and maximum sizes constrained for readability
Water
Other
CLT & glulam
Electricity
CLT, glulam and LVL
Other site operation
Electricity
Water


Resource type – subtype (over whole life-cycle)
Electricity
Electricity
CLT, glulam an...
CLT & glulam
Water
Water
Other site operation
Other


Results by life-cycle stage
GWP
AP
EP
ODP
POCP
Total use of primary energy ex. raw materials
Bio-CO2 storage
120
100
80
60
40
20
0
Percentage
A1–A3 Materials
A4 Transportation
A5 Construction
B6 Energy
B7 Water


Life-cycle impacts by stage as stacked columns
A1-A3 Materials
A4 Transportation
A4-leg2 Transportation - leg 2
A5 Construction
B1-B5 Maintenance and replacement
B6 Energy
B7 Water
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
%
GWP
AP
EP
ODP
POCP
Total use of primary energy ex. raw materials
Bio-CO2 storage

Life-cycle impacts by material as stacked columns

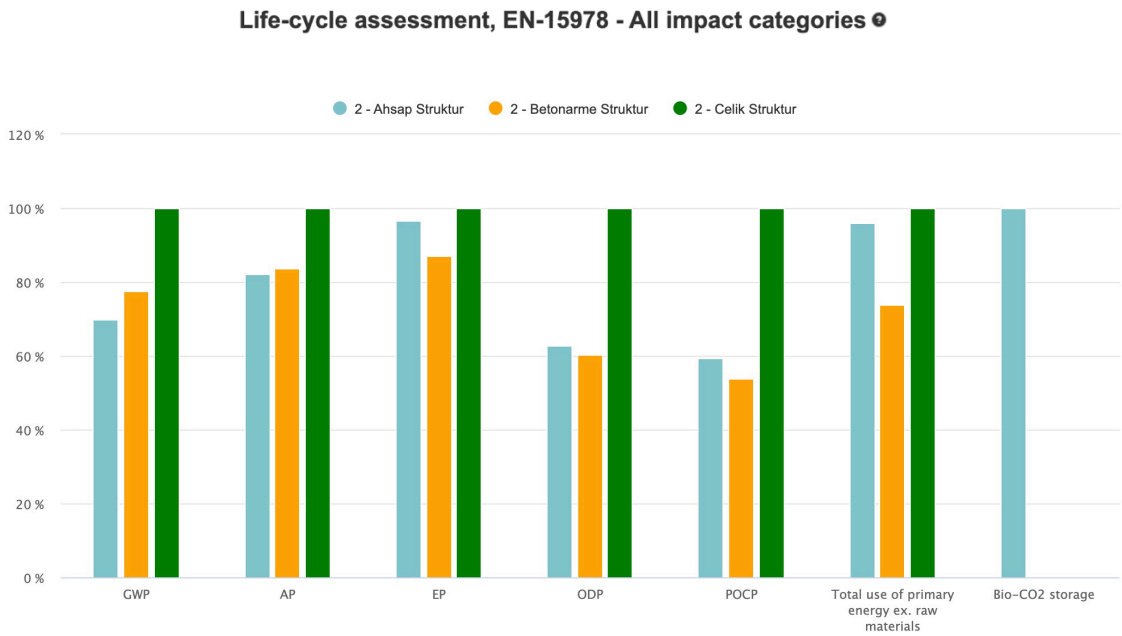


Data sources

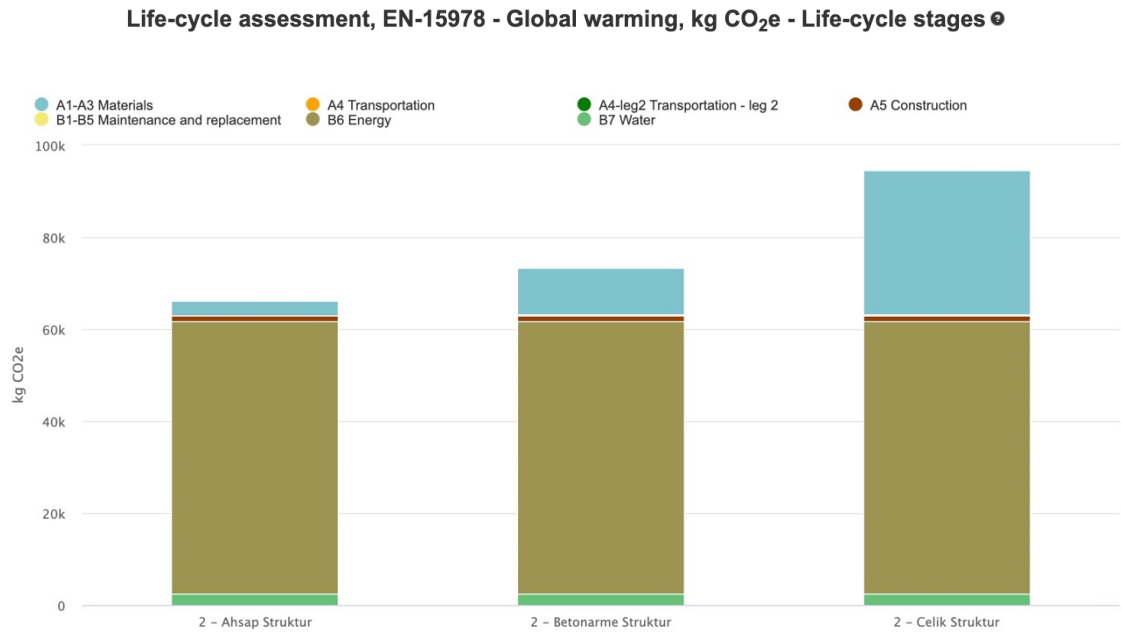
Sources

Resource name	Technical specification	Product	Manufacturer	EPD program	EPD number	Environment Data Source	Standard
Cross laminated timber (CLT)	470 kg/m3	X-LAM	W. u. J. Derix, for German market	MRPI	1.1.00134.2020	EPD X-LAM (Cross laminated timber) German market	EN15804+A1
Electricity, Turkey				One Click LCA		LCA study for country specific electricity mixes based on IEA, OneClickLCA 2022	
Glue laminated timber	500.33 kg/m3, 10.61% moisture content	Duobalken, Triobalken	Konstruktionsvollholz e.V.	IBU	EPD-SHL-201200018-IBG1-E	Duobalken, Triobalken (glued solid timber) Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. and Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V.	ISO14040

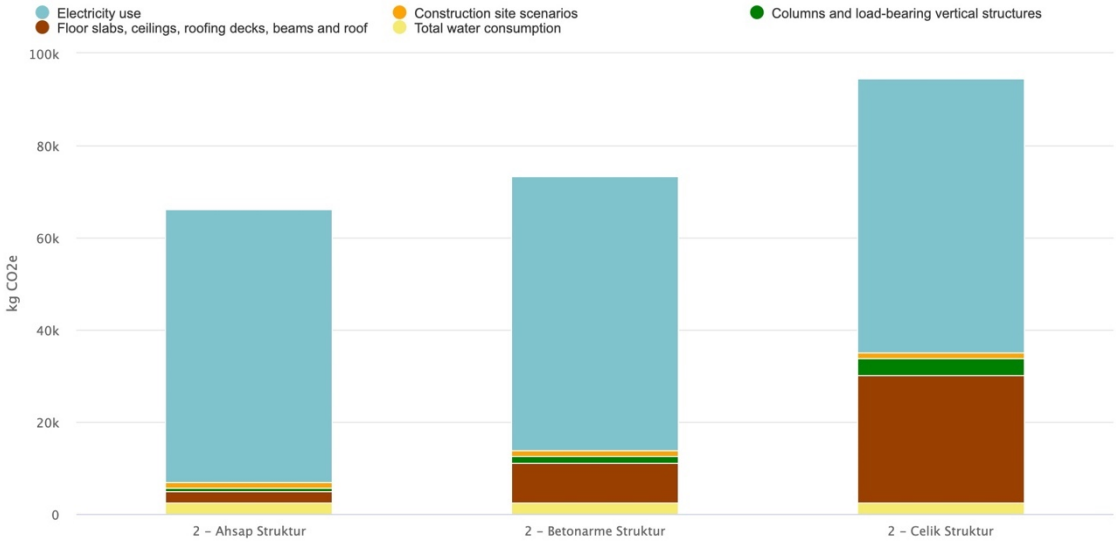
Betonarme, Çelik ve Çağdaş Ahşap Strüktür Seçeneklerinin Karşılaştırmalı Sonuç Raporu



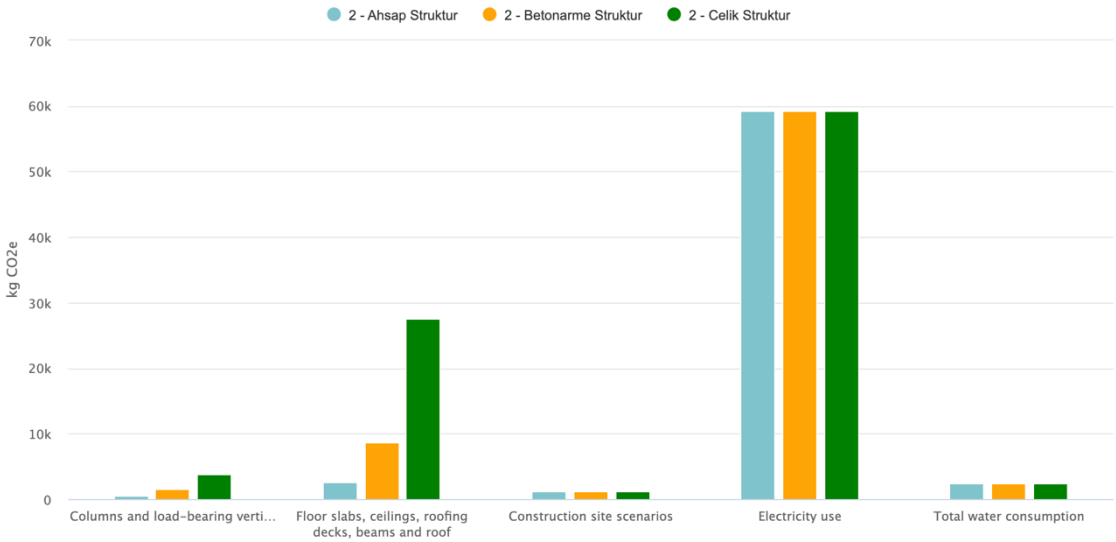
Sonuç raporundaki grafikler, ilgili strüktürlerin Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) örneği üzerinden elde edilmiştir. Dijital araç ile belirtilen etki kategorisi dışında diğer tüm etki kategorileri kapsamında sonuç raporları elde edilebilir.



Life-cycle assessment, EN-15978 - Global warming, kg CO_2e - Elements



Life-cycle assessment, EN-15978 - Global warming, kg CO_2e - Compare elements



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Köşürgeli, E., Tuna Taygun, G. (2022). *Building Product Selection in the Context of Life Cycle Assessment (LCA) with Digital Design Tools: The Case of One Click LCA*. International Graduate Research Symposium - IGRS'22, İstanbul (Bildiri Kabul Edilmiştir).

2. Köşürgeli, E., Tuna Taygun, G. (2020). Yeşil Yapı Tasarımında Malzeme/Ürün Kararlarının İrdelenmesi. *II. Mimarlık ve Şehircilik Sempozyumu Bildiri Özetleri Kitabı*, ss.16-17, İstanbul.