

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YAPILARDAKİ GÖMÜLÜ ENERJİYİ İRDELEYEN BIM
TABANLI ARAÇLARIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

BÜŞRA ÖZTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN: DOÇ. DR. FERHAT PAKDAMAR

OCAK 2025

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YAPILARDAKİ GÖMÜLÜ ENERJİYİ İRDELEYEN BIM
TABANLI ARAÇLARIN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

BÜŞRA ÖZTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

DANIŞMAN: DOÇ. DR. FERHAT PAKDAMAR

OCAK 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

COMPARATIVE ANALYSIS OF BIM-BASED TOOLS
THAT EXAMINATE EMBODIED ENERGY IN
BUILDINGS

BÜŞRA ÖZTÜRK

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE

ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. FERHAT PAKDAMAR

JANUARY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 20/01/2025 tarih ve 2025/06 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 29/01/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Büşra ÖZTÜRK'ün tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Ferhat PAKDAMAR

ÜYE

: Doç. Dr. Seher GÜZELÇOBAN MAYUK

ÜYE

: Doç. Dr. Ahmet GÜN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Aileme

ÖZET

Yapının yaşam döngüsü ham maddelerin çıkarılması, yapı malzemelerinin üretilmesi, yapının kullanımı, yıkımı ve yıkım sonrası geri dönüşümü evrelerini kapsar. Yapının yaşam döngüsünde tükettiği enerji, küresel enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Çevre üzerindeki bu yük küresel ısınma gibi olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Bu durum yapıların daha az enerji tüketimle tasarlanmasını ve üretilmesini zorunlu kılmaktadır. Yapılarda enerji tüketimi, operasyonel enerji ve gömülü enerji olarak incelenir. Operasyonel enerji yapının ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, iklimlendirme gibi kullanımı esnasında tükettiği enerjidir. Gömülü enerji ise yapı malzemelerinin yaşam döngüsü boyunca tükettiği enerjidir. Teknolojideki önemli ilerlemelerle operasyonel enerjinin azaltılabildiği görülmektedir. Bunlara örnek olarak düşük enerjili ya da sıfır enerjili yapılar verilebilir. Fakat gömülü enerjinin hem toplam enerjideki payının operasyonel enerjiye göre daha az olması hem de hesaplanmasının karmaşıklığı ve zaman alıcılığı nedeniyle genellikle göz ardı edildiği bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada operasyonel enerjiyi azaltmak için yapılan müdahalelerin gömülü enerji payını arttırdığı sonucuna varılmıştır. Bu durum gömülü enerjinin göz ardı edilmemesi gerektiğini ve operasyonel enerjiyle birlikte bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), yapının çevresel etki ve enerji hesaplamalarında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle gömülü enerji ve çevresel etki hesaplamaları yapılabilir. Yapı bilgi modellemesi (BIM), bir projenin tasarım ve yapım sürecinin adım adım izlenebildiği üç boyutlu bir platform ve bilgi yönetim sistemidir. BIM'de çeşitli analizler yapılmakta ve sanal ortamda yapının inşası simüle edilebilmektedir. BIM teknolojisinin LCA ile entegrasyonunun gömülü enerji hesaplamalarındaki karmaşıklığı azaltacağı ve süreci hızlandıracağı düşünülmektedir. Bu çalışmada BIM-LCA entegrasyonlarında farklı yaklaşımlar incelenmiştir. Bu yaklaşımlarda BIM tabanlı araçların LCA analizlerinde kullanılabildiği görülmektedir. Erken tasarım aşamasında BIM ortamında modellenen yapıların eklenti araçlarla LCA analizleri ve bununla birlikte gömülü enerji hesaplamaları yapılabilir. Bu çalışmanın amacı BIM tabanlı araçların araştırılması ve örnek bir proje üzerinde bu araçlarla gömülü enerji hesaplamalarının yapılarak araçların değerlendirilmesi ve çevresel performansı iyileştirici kazanımlar elde edilmesine yardımcı olmasıdır. Bununla birlikte çalışma sonucunda örnek bir projenin gömülü enerji hesabının yapıldığı dört farklı araç, kullanım süreçleri ve elde edilen sonuçlar baz alınarak karşılaştırılmış ve eToolLCD aracının diğer araçlara göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Çalışmayla ayrıca değerlendirilen bu araçların kullanım sürecindeki olumlu ve geliştirilmesi gereken yönleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı Bilgi Modellemesi (YBM-BIM), Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD-LCA), Gömülü Enerji, BIM-LCA Entegrasyonu.

ABSTRACT

The life cycle of a building includes the extraction of raw materials, production of building materials, use of the building, demolition and post-demolition recycling phases. The energy consumed by a building during its life cycle has a significant share in global energy consumption. This burden on the environment causes negative consequences such as global warming. This situation necessitates those buildings be designed and manufactured with less energy consumption. Energy consumption in structures is examined as operational energy and embodied energy. Operational energy is the energy consumed by the building during its use such as heating, cooling, ventilation, lighting and air conditioning. Embodied energy is the energy consumed by building materials throughout their life cycle. It is seen that operational energy can be reduced with significant advances in technology. Low-energy or zero-energy buildings can be given as examples of these. However, it is known that embodied energy is generally ignored due to both its share in total energy being less than operational energy and its complexity and time-consuming calculation. In a study, it was concluded that interventions made to reduce operational energy increased the embodied energy share. This situation shows that embodied energy should not be ignored and should be evaluated with a holistic approach together with operational energy.

Life cycle assessment (LCA) is a method used in environmental impact and energy calculations of the building. Embodied energy and environmental impact calculations can be made with this method. Building information modeling (BIM) is a 3D platform and information management system where the design and construction process of a project can be monitored step by step. Various analyses are performed in BIM and the construction of the building can be simulated in a virtual environment. It is thought that the integration of BIM technology with LCA will reduce the complexity in embodied energy calculations and speed up the process. In this study, different approaches in BIM-LCA integrations are examined. In these approaches, it is seen that BIM-based tools can be used in LCA analyses. LCA analyses and embodied energy calculations can be performed with add-on tools for structures modeled in the BIM environment at the early design stage. The purpose of this study is to investigate BIM-based tools and evaluate the tools by performing embodied energy calculations with these tools on a sample project and to help achieve environmental performance improvement gains. In addition, as a result of the study, four different tools with which the embodied energy calculation of a sample project was made were compared based on the usage processes and the results obtained, and it was determined that the eToolLCD tool was more advantageous than the other tools. The study also determined the positive and developing aspects of these tools in the usage process.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Life Cycle Assessment (LCA), Embodied Energy, BIM-LCA Integration.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Ferhat PAKDAMAR'a,
Yüksek lisans sürecinde aldığım dersiyle tez konumu belirlememe yardımcı olan Doç. Dr. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ'a,
Beni her koşulda destekleyen, haklarını asla ödeyemeyeceğim annem ve babama,
Biricik kardeşime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLOLAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Belirlenmesi	2
1.2. Tezin Amacı, Kapsamı ve Yöntemi	2
1.3. Tezin Katkısı ve İçeriği	3
2. BIM TANIMI VE BIM KAVRAMLARI	5
2.1. BIM'in Tanımı	5
2.2. BIM'in Tarihsel Gelişim Süreci	7
2.3. Yapı Yaşam Döngüsünde BIM Kullanımı	9
2.3.1. Tasarım Evresinde BIM	10
2.3.2. Projelendirme ve Yapım Evresinde BIM	11
2.3.3. Tesis Yönetimi Evresinde BIM	12
2.3.4. Onarım Yıkım Evresinde BIM	13
2.4. Çok Boyutluluk (nD)	13
2.5. BIM Olgunluk Seviyeleri	18
2.6. BIM'in Yapı Sektörüne Getirdiği Yeni Kavramlar	20
2.6.1. Parametrik (Nesne Tabanlı) Modelleme	20
2.6.2. Birlikte Çalışabilirlik ve IFC	22
2.6.3. Çakışma Kontrolü	24
2.6.4. Gelişim Düzeyi (LOD/Level Of Development)	25
2.6.5. Entegre Proje Teslimi (IPD/Integrated Project Delivery)	28
2.6.6. COBie (The Construction to Operations Building information exchange)	30
2.6.7. Otomatik Metraj	31
2.7. BIM'in Avantajları ve Zorlukları	32
2.8. Yapı Sektöründe BIM Kullanımı	34
2.8.1. Dünyada BIM Kullanımı	34
2.8.2. Türkiye'de BIM Kullanımı	36
2.9. BIM Tabanlı Yazılımlar	38
3. YAPILARDA ENERJİ TÜKETİMİ VE LCA METODOLOJİSİ	43
3.1. Yapı Yaşam Döngüsünde Enerji Kullanımının Yeri	43
3.1.1. Gömülü Enerji	46
3.1.2. Operasyonel (Kullanım) Enerji	47
3.1.3. Yaşam Döngüsü Enerji Analizi (YDEA/LCEA)	48
3.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD/LCA) Metodolojisi	49

3.2.1. Amaç ve Kapsam Tanımı	51
3.2.2. Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE/LCI)	53
3.2.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED/LCIA)	55
3.2.4. Yaşam Döngüsü Yorumlama	59
3.3. Çevresel Ürün Beyanı (EPD)	60
3.4. LCA Yazılım Araçları ve Veri Tabanları	62
4. GÖMÜLÜ ENERJİ HESAPLAMALARINDA BIM-LCA/LCEA ENTEGRASYONU VE ÖRNEK BİR ÇALIŞMA	64
4.1. BIM-LCA/LCEA Entegrasyonu	64
4.2. LCA Metodolojisinde Kullanılan BIM Tabanlı Araçlar	68
4.2.1. Tally Aracı	68
4.2.2. One Click LCA Aracı	70
4.2.3. eToolLCD Aracı	72
4.2.4. SURAP Aracı	73
4.3. Örnek Bir Proje Üzerinde Gömülü Enerjinin BIM Tabanlı Araçlarda Değerlendirilmesi	76
4.3.1. Manuel Hesaplama ve Değerlendirme	79
4.3.2. Tally Aracının Kullanımı, Elde Edilen Gömülü Enerji Değerleri ve Aracın Değerlendirilmesi	84
4.3.3. One Click LCA Aracının Kullanımı, Elde Edilen Gömülü Enerji Değerleri ve Aracın Değerlendirilmesi	91
4.3.4. eToolLCD Aracının Kullanımı, Elde Edilen Gömülü Enerji Değerleri ve Aracın Değerlendirilmesi	98
4.3.5. SURAP Aracının Kullanımı, Elde Edilen Gömülü Enerji Değerleri ve Aracın Değerlendirilmesi	106
4.4. Tally, One Click LCA, eToolLCD ve SURAP Araçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi	113
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	118
KAYNAKLAR	120
ÖZGEÇMİŞ	130
TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR	131
EKLER	132

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CFC11	: Kloroflorokarbon
CO ₂	: Karbondioksit
C ₂ H ₄	: Eten
kg	: Kilogram
kg/m ³	: Metreküp başına kilogram
MJ	: Megajul
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
ADP	: Abiyotik Tüketim Potansiyeli
ADPF	: Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli
AGC	: Amerika Genel Müteahhitler Birliği
AIA	: Amerikan Mimarlar Enstitüsü
AP	: Asitleşme Potansiyeli
AusLCI	: Avustralya Ulusal Yaşam Döngüsü Envanteri Veri Tabanı
BIM	: Yapı Bilgi Modellemesi
BREEAM	: Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi
CAALA	: Bilgisayar Destekli Mimari Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAFM	: Bilgisayar Destekli Tesis Yönetimi
CEN	: Avrupa Standardizasyon Komitesi
CMMS	: Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemleri
COBie	: İnşaat Operasyonları Bina Bilgi Değişimi
EBD	: Tüm Yapı Çevresel Bina Deklarasyonu
EPD	: Çevresel Ürün Deklarasyonu
GE	: Gömülü Enerji
GRESB	: Küresel Gayrimenkul Sürdürülebilirlik Karşılaştırması
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
ICE	: Karbon ve Enerji Envanteri
IFC	: Endüstri Temel Sınıfları
IPD	: Entegre Proje Teslimi
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
LCEA	: Yaşam Döngüsü Enerji Analizi
LCI	: Yaşam Döngüsü Envanteri
LCIA	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
LEED	: Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik
LOD	: Gelişim Düzeyi
MEP	: Mekanik Elektrik Tesisat
NBIMS	: Amerika Ulusal BIM Standartları
nD	: Çok Boyutluluk
NDEA	: Norveç Savunma Emlakları Ajansı
ODP	: Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli
OP	: Operasyonel Enerji
PED	: Birincil Enerji Talebi
PENRE	: Yenilenemeyen Birincil Enerji Kaynaklarının Enerji Kaynağı Olarak Kullanımı

PENRM	: Yenilenemeyen Birincil Enerji Kaynaklarının Ham Madde Olarak Kullanımı
PENRT	: Yenilenemeyen Birincil Enerji Kullanımı
PERE	: Yenilenebilir Birincil Enerji Kaynaklarının Enerji Kaynağı Olarak Kullanımı
PERM	: Yenilenebilir Birincil Enerji Kaynaklarının Ham Madde Olarak Kullanımı
PERT	: Yenilenebilir Birincil Enerji Kullanımı
POCP	: Fotokimyasal Oksidasyon Oluşma Potansiyeli
SETAC	: Çevre Toksikolojisi ve Kimyası Derneği
SURAP	: Sürdürülebilir Kaynak Uygulamaları
U.S. LCI	: Amerika Yaşam Döngüsü Envanteri
WRD	: Su Kaynaklarının Tüketimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: BIM kavramının görsel bir temsili.	7
Şekil 2.2: Ivan Edward Sutherland tarafından geliştirilen Sketchpad.	8
Şekil 2.3: Yapı yaşam döngüsünde BIM.	9
Şekil 2.4: Yapı yaşam döngüsü evreleri.	10
Şekil 2.5: BIM ortamında hazırlanan gün ışığı analizi.	11
Şekil 2.6: BIM boyutları.	14
Şekil 2.7: Şantiye düzenini gösteren Navisworks yazılım görüntüsü.	15
Şekil 2.8: 4D BIM planlama verileri.	15
Şekil 2.9: 5D BIM maliyet verileri.	16
Şekil 2.10: 6D BIM modeli enerji analizi.	17
Şekil 2.11: BIM olgunluk seviyeleri.	20
Şekil 2.12: Parametrik modelleme.	21
Şekil 2.13: Revit arayüzü, parametrik modelleme.	22
Şekil 2.14: Geleneksel yöntemle veri alışverişi ve BIM sistemiyle birlikte çalışabilirlik.	23
Şekil 2.15: IFC' nin çalışması.	24
Şekil 2.16: Çakışma kontrolü.	25
Şekil 2.17: BIMForum (2023) LOD gelişim düzeyleri.	26
Şekil 2.18: Geleneksel Teslim Yöntemi- IPD Teslim Yöntemi.	30
Şekil 2.19: Tipik bir COBie elektronik tablosundaki “Tür” çalışma sayfası.	31
Şekil 2.20: Revit’te oluşturulan metraj listesi.	32
Şekil 2.21: Proje paydaşlarının yıllara göre BIM kullanımı/ Firma büyüklüğüne göre BIM'in kullanımı.	35
Şekil 2.22: 2013 ve 2015’te Dünya ülkelerinin BIM kullanım oranları.	36
Şekil 2.23: BIM uygulamalarının kullanıldığı proje tipleri.	37
Şekil 2.24: Revit arayüzü.	39
Şekil 2.25: ArchiCAD arayüzü.	39
Şekil 2.26: Bentley arayüzü.	40
Şekil 2.27: Tekla arayüzü.	41
Şekil 3.1: Bir yapının yaşam döngüsü.	44
Şekil 3.2: Yapı yaşam döngüsü enerjisi.	46
Şekil 3.3: Konut binalarının yaşam döngüsü enerjisi kullanımında OE ve GE oranları.	48
Şekil 3.4: Yaşam Döngüsü Enerji Analizinde sistemin akışı.	49
Şekil 3.5: Çevre sertifikasyonuna ilişkin düzenleyici çerçeve.	50
Şekil 3.6: LCA safhaları.	51
Şekil 3.7: Yapıların LCA çalışmalarında kullanılan sistem sınırları.	53
Şekil 3.8: Envanter analizi için basitleştirilmiş aşamalar.	54
Şekil 3.9: Örnek bir envanter analizi.	54
Şekil 3.10: Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi evreleri.	56
Şekil 3.11: LCA metodolojisi.	60
Şekil 3.12: EPD tiplerinin yapı değerlendirme bilgi modülleri kapsamıyla gösterimi.	62
Şekil 3.13: Bir LCA yazılım aracının çalışma yapısı.	63

Şekil 4.1: 2012-2020 BIM ve LCA'nın entegrasyonu alanında ilerlemeler ve gelişmeler.	65
Şekil 4.2: BIM-LCA entegrasyon yaklaşımları.	66
Şekil 4.3: BIM-LCA entegrasyon yaklaşımları.	67
Şekil 4.4: Tally aracının iş akışı.	70
Şekil 4.5: One Click LCA aracının arayüzü.	71
Şekil 4.6: Revit'te etkilerin görselleştirilmesi.	72
Şekil 4.7: eToolLCD aracının arayüzü.	73
Şekil 4.8: SURAP aracının arayüzü.	75
Şekil 4.9: a) Örnek depo projesinin plan ve kesiti, b) Örnek depo projesinin görünüşleri.	77
Şekil 4.10: Betonarme, çelik ve ahşap taşıyıcı sistemlerin gömülü enerjilerinin karşılaştırılması.	84
Şekil 4.11: Tally aracının çalışma amacı seçenekleri.	86
Şekil 4.12: Tally aracına eklenen malzeme verileri.	86
Şekil 4.13: Malzeme verilerinin detaylı olarak düzenlendiği ekran.	87
Şekil 4.14: Tüm malzeme listesi ve malzeme bilgilerini içeren ekran.	87
Şekil 4.15: Rapor detayları ekranı.	88
Şekil 4.16: Taşıyıcı sistemlerin Tally aracıyla elde edilen enerji değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması.	89
Şekil 4.17: Revit'te One Click LCA sekmesi altındaki 'LCA in Autodesk Revit' ve 'LCA in Cloud' seçenekleri.	93
Şekil 4.18: One Click LCA web tarayıcısında ilk açılan ekran, ayarlar sayfası.	93
Şekil 4.19: One Click LCA web tarayıcısında eşleştirme sayfası, tanımlanan ve tanımlanmayan veriler listesi.	94
Şekil 4.20: Revit yazılımından eToolLCD hesabına giriş sayfası.	99
Şekil 4.21: Revit modelinin eToolLCD'ye bağlantısı.	100
Şekil 4.22: Revit modelindeki metraj verilerinin eToolLCD'ye aktarımı.	100
Şekil 4.23: Revit'ten web sürümüne aktarılan metraj verileri.	101
Şekil 4.24: Aktarılan malzemelerin eTool şablonlarıyla eşleştirildiği sayfa.	101
Şekil 4.25: Excel formatındaki metraj verilerinin eToolLCD aracına aktarımı ve şablon verilerini seçme aşamaları.	102
Şekil 4.26: Taşıyıcı sistemlerin eToolLCD aracıyla elde edilen abiyotik tükenme enerji değerlerinin sayısal olarak karşılaştırılması.	103
Şekil 4.27: Tasarım seçeneklerinin SURAP'ta tanımlanması.	107
Şekil 4.28: Malzeme verilerinin seçiminden önce tasarım seçeneklerinin aktifleşmesi.	108
Şekil 4.29: Malzeme verilerinin seçimi.	108
Şekil 4.30: Sonuçları görüntüleme.	110
Şekil 4.31: SURAP'la elde edilen enerji değerlerinin karşılaştırılması.	111

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: İç duvarın LOD gelişim düzeyleri.	28
Tablo 2.2: BIM yazılımları ve hitap ettiği disiplinler.	42
Tablo 3.1: LCA çalışmalarında sıklıkla kullanılan çevresel etki kategorileri.	58
Tablo 4.1: BIM-LCA yazılım araçları hakkında bilgiler.	75
Tablo 4.2: Betonarme, çelik ve ahşap taşıyıcı sistemlerin Revit ortamında oluşturulan modelleri ve malzeme bilgileri.	78
Tablo 4.3: Betonarme taşıyıcı sistemli yapının ağırlık birimli metrajı.	80
Tablo 4.4: Betonarme taşıyıcı sistemin malzemelere göre gömülü enerji değerleri ve toplam gömülü enerji değeri.	80
Tablo 4.5: Çelik taşıyıcı sistemli yapının ağırlık birimli metrajı.	81
Tablo 4.6: Çelik taşıyıcı sistemin malzemelere göre gömülü enerji değerleri ve toplam gömülü enerji değeri.	82
Tablo 4.7: Ahşap taşıyıcı sistemli yapının ağırlık birimli metrajı.	83
Tablo 4.8: Ahşap taşıyıcı sistemin malzemelere göre gömülü enerji değerleri ve toplam gömülü enerji değeri.	84
Tablo 4.9: Taşıyıcı sistemlerin Tally aracıyla elde edilen gömülü enerji değerleri.	89
Tablo 4.10: Taşıyıcı sistemlerin One Click LCA aracıyla elde edilen gömülü enerji değerleri.	95
Tablo 4.11: Taşıyıcı sistemlerin eToolLCD aracıyla elde edilen gömülü enerji değerleri.	104
Tablo 4.12: Taşıyıcı sistemlerin SURAP aracıyla elde edilen gömülü enerji değeri.	111
Tablo 4.13: Tally, One Click LCA, eToolLCD ve SURAP araçlarının kullanım süreçleri ve sonuç verileri kapsamında karşılaştırılması.	114

1. GİRİŞ

Günümüzde tüketimi giderek artan ve en önemli ihtiyaçlarımızdan biri olan enerji, konut, sanayi ve ulaştırma gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Özellikle yapılarda tüketilen enerji miktarı küresel enerji tüketimi içerisinde %40 dolaylarına yaklaşmıştır. Neredeyse toplam enerji tüketiminin yarısını oluşturmaktadır. Enerjinin oluşumunda doğadaki sınırlı kaynaklar kullanılmaktadır. Kaynakların sınırlı oluşu enerjinin bilinçli kullanılmasını gerektirir. Bilinçli kullanılan enerji çevre kirliliği ve gelecekte toplumların ekonomik gelişmişlikleri için önemlidir. Türkiye’de de yapı sektörü enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir ve enerji verimliliği konusunda çözüm geliştirilmesi gerekmektedir. Yapıların tüm yaşam döngüsü, yapımı, işletimi, yıkımı, geri dönüşümü süreçlerindeki enerji ve kaynak tüketimleri, çevresel etki oluşumları dikkate alınmalıdır [**Hozatlı, 2013**].

Yapının tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerinin ve enerji tüketimlerinin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan yapının yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) metodolojisi, yapı malzemelerin ham maddelerinin çıkarılmasından kullanım ömrünün sonuna kadar geçen evreyi kapsamakta ve sürecin yönetilmesinde kullanılmaktadır [**Abd Rashid and Yusoff, 2015**]. Bu sayede artan çevre duyarlılığı ile doğal kaynakların kullanımı ve küresel çevre sorunlarına yol açacak faktörlere karar verme sürecinde erken müdahale etme şansı elde edilebilecektir [**Hozatlı, 2013**].

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM-building information modelling), yapının kavramsal tasarımından yıkımına kadar olan sürecin koordinasyonunun sağlandığı, adım adım izlenebildiği ve 3 boyutlu dijital olarak yapı proje verilerinin oluşturulduğu ve yönetildiği bir süreç ve bilgi yönetimi sistemidir. BIM’de akıllı objelere eklenen (en, boy, malzeme, gibi) bilgiler ile analizler yapılmakta ve sanal ortamda yapının inşası simüle edilebilmektedir. Bu bağlamda enerji tüketim hesaplamalarında LCA metodolojisiyle BIM modeli arasında entegrasyonun önemi ortaya çıkmaktadır [**Duru ve Koç, 2021**].

1.1. Problemin Belirlenmesi

Küresel çapta gerçekleştirilen yıllık enerji tüketiminin neredeyse yarısı, yapıların üretilmesi, işletilmesi ve bakımı için gerçekleştirilen faaliyetlerde kullanılmaktadır. Çoğunlukla fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilen enerjinin kullanımı iklim değişikliğini oluşturan etmenlerin başında gelen karbon emisyonlarına neden olmaktadır [Koç vd., 2022].

Yapılarda enerji tüketimi operasyonel ve gömülü enerji olarak iki başlıkta incelenmektedir. Operasyonel enerji yapıların ısıtma, soğutma, iklimlendirme, aydınlatma gibi yapının kullanımı sırasında tüketilen enerji olarak tanımlanmaktadır. Gömülü enerji ise yapı malzemelerinin üretiminde, ulaşımda, yapımda ve onarım sürecinde tüketilen enerji olarak tanımlanmaktadır. Yapıların karbon ayak izinin etkili bir şekilde azalabilmesi için enerji tüketimlerini bütüncül olarak ele almak gerekir. Ancak yapılan çalışmalar daha çok operasyonel enerjinin azaltılmasına yönelik olmuştur. Gömülü enerjinin hesaplanması karmaşık, zaman alıcı bulunmuş ve göz ardı edilmiştir [Koç vd., 2022]. Fakat yapılan çalışmalarda operasyonel enerjinin azaltılmasına yönelik yapılan müdahalelerin gömülü enerji payının artmasına neden olduğu görülmüştür. Örneğin Chastas et al. [2016] çalışmasında geleneksel bir binadan düşük enerjili bir binaya geçişte toplam yaşam döngüsü enerjisi ve operasyonel enerji azalmaktadır. Fakat gömülü enerji payında artış yaşanmaktadır. Bu durum gömülü enerjinin göz ardı edilmemesi ve bütüncül enerji tüketimini azaltmaya yönelik çalışmaların benimsenmesi gerektiğini göstermektedir.

Gömülü enerji hesaplamalarında kullanılan LCA, bir ürünün ömrü boyunca enerji akışlarının ve çevresel etkilerinin nicel değerlendirmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu değerlendirmenin BIM uygulamalarıyla kolaylaşabileceği öngörülmektedir. Son yıllarda BIM yazılımlarına entegre olabilecek LCA araçları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu araçların kullanım süreçlerinin değerlendirilmesi sonucunda geliştirilmesi gereken yönlerinin olabileceği düşünülmektedir.

1.2. Tezin Amacı, Kapsamı ve Yöntemi

Yapılan çalışma ile gömülü enerji hesaplamalarında kullanılan BIM tabanlı LCA araçların örnek bir proje üzerinde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla

yapılan çalışmada; BIM-LCA tabanlı araçlar araştırılıp, Revit ortamında oluşturulmuş modellerin BIM tabanlı araçlarda LCA analizleri yapılmıştır. Revit'te örnek bir depo projesinin ahşap, betonarme ve çelik taşıyıcı sistemleri oluşturulmuş ve bu taşıyıcı sistemlerin Tally, One Click LCA, eToolLCD ve SURAP araçlarında üretim süreçlerindeki gömülü enerji tüketimleri kapsamında hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada literatürde BIM kavramı, yapıda enerji tüketim türleri, LCA metodolojisi, BIM-LCA entegrasyonu konuları araştırılmıştır. Örnek bir proje üzerinde gömülü enerji hesabı yapılan araçlar kullanım süreçleri ve elde edilen sonuçlar üzerinden karşılaştırmalı analiz metodolojisi yardımıyla değerlendirilmiştir. Bu karşılaştırmada tablolama yöntemi tercih edilmiştir. Bununla birlikte araçlardan elde edilen grafiksel sonuçlarla da içerik desteklenmiştir.

1.3. Tezin Katkısı ve İçeriği

Yapılarda enerji tüketimi konusu küresel anlamda büyük bir paya sahiptir. Gömülü enerji kavramı da bu tüketimin bir parçasıdır fakat hesaplanmasının karmaşıklığı ve zaman alıcı özelliğinden dolayı göz ardı edilmiştir. Aynı zamanda operasyonel enerjiyi azaltmaya yönelik müdahalelerin de gömülü enerjiyi arttırdığı bilinmektedir. Bundan dolayı gömülü enerji hesaplamalarında iyileştirici çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu anlamda tezin gerek akademiye gerekse sürdürülebilir mimariye, dijitalleşme sürecinde olan inşaat sektörüne, yapıların erken tasarım aşamalarında BIM araçlarının gömülü enerji hesaplamalarında kullanılması yönünde katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca yapılan çalışma LCA araç geliştiricilerine de katkı sağlayabilir. Çünkü araç geliştiricileri bu çalışmada araç kullanıcısının aracın hangi özelliklerini olumlu bulduğunu ya da aracın hangi özelliklerinin iyileştirilmesi gerektiğini görebilir ve bu doğrultuda aracını geliştirebilir ya da güncelleyebilir.

Çalışmanın giriş bölümünde problem belirlenmiş daha sonra tezin amacı, kapsamı, yöntemi, katkısı ve içeriği hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde BIM Kavramı başlığı altında BIM'in Tanımı, BIM'in Tarihsel Gelişim Süreci, Yapı Yaşam Döngüsünde BIM Kullanımı, BIM'in Yapı Sektörüne Getirdiği Yeni Kavramları, BIM'in Avantajları ve Zorlukları, BIM'in Yapı Sektöründe Kullanımı ve BIM Yazılımları konularına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde Yapılarda Enerji Tüketimi ve LCA Metodolojisi başlığı altında Yapı Yaşam Döngüsünde Enerji Kullanımı, LCA Metodolojisi, Çevresel Ürün Beyanı ve LCA Yazılım Araçları konularına yer

verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise Gömülü Enerji Hesaplamalarında BIM-LCA Entegrasyonu başlığı altında BIM-LCA yaklaşımları ele alınmıştır. LCA Metodolojisiinde Kullanılan BIM Tabanlı Araçlar ve Örnek Bir Proje Üzerinde Gömülü Enerjinin BIM Tabanlı Araçlarda Değerlendirilmesi konuları altında dört araç kullanım süreçleri ve elde edilen sonuçlar baz alınarak oluşturulmuş beş başlık altında değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu başlıklar metraj verilerinin aktarımı, veri tabanı özellikleri, arayüz özellikleri, sonuç verileri ve analiz kapsamıdır. Daha sonra çalışmadan elde edilen sonuçlar ve geliştirilmesi gereken konular hakkında önerilerle tez tamamlanmıştır.

2. BIM TANIMI VE BIM KAVRAMLARI

Bu bölümde yapı sektöründe kullanılan BIM teknolojisinin tanımı, tarihsel gelişim süreci, yapı yaşam döngüsünde kullanımı, çok boyutluluk kavramının ne anlama geldiği, olgunluk seviyeleri, yapı sektörüne getirdiği yeni kavramları, avantajları ve zorlukları, yapı sektöründe kullanımı ve geliştirilen yazılımları konuları detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

2.1. BIM'in Tanımı

İnşaat sektörü pek çok belirsizlik ve risk faktörü içermektedir. Aynı zamanda sektörde revizyon, standartlaşmama, iç ve dış sistem eksikliği, elde edilemeyen veri ve belirsizlikler, bilinç ve ekonomi kaynaklı nedenler gibi birçok zorlukla karşılaşilmektedir [Göktürk, 2007].

Gün geçtikçe gelişen bilgi teknolojisi sistemlerinden Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), inşaat sektörünün proje üretim ve yönetim aşamalarındaki belirsizlik ve riskleri azaltmada etkili olmaktadır. BIM sistemiyle dijital ortamda oluşturulan sanal model, tasarım aşamalarını destekler, yapım süreçlerinin daha iyi analizini ve kontrolünü sağlar ayrıca inşaat, imalat ve tedarik faaliyetlerini desteklemek için gereken bilgileri içerir [Eastman et al., 2011].

BIM kavramının literatürde birçok tanımı mevcuttur. En temel haliyle BIM hem bir teknoloji hem de bir süreçtir. BIM'in teknoloji unsuru, proje paydaşlarının ortak bir model üzerinde çalışıp neyin inşa edileceğini görselleştirerek olası tasarım, inşaat veya operasyonel problemleri öngörmesine yardımcı olur. Süreç unsuru ise birlikte çalışılabilirliği mümkün kılar ve bir projedeki tüm paydaşların rollerinin bütünleşmesini teşvik eder [Azhar et al., 2012].

Bir yapı bilgi modeli, yapı elemanlarının geometrisini, malzeme envanterlerini, coğrafi bilgilerini, miktarlarını ve özelliklerini, mekânsal ilişkilerini, maliyet tahminlerini ve proje programını nitelendirir. Oluşturulan model, tüm bina yaşam döngüsünü göstermek için kullanılabilir [Bazjanac, 2004].

Amerika Genel Müteahhitler Birliği (AGC), ‘Yüklenicinin BIM Kılavuzu’ adlı el kitabında BIM’i: “Yapı Bilgi Modellemesi, bir tesisin inşasını ve işletimini sim lemek için bir bilgisayar yazılım modelinin geliştirilmesi ve kullanılmasıdır. Ortaya çıkan model, bir Yapı Bilgi Modeli, tesisin veri açısından zengin, nesne yönelimli, akıllı ve parametrik bir dijital temsildir.” **[AGC, 2008]** olarak açıklamaktadır.

Amerika Ulusal Yapı Bilgi Modelleme Standartları (NBIMS) komitesi BIM’i: “Yapı Bilgi Modellemesinin temel öncülü, bir tesisin yaşam döngüsünün farklı aşamalarında farklı paydaşların, rollerini desteklemek ve yansıtmak amacıyla Yapı Bilgi Modeline bilgi eklemek, çıkarmak, güncellemek veya değiştirmek için iş birliği yapmasıdır.” **[Web 1, 2024]** olarak ifade etmektedir.

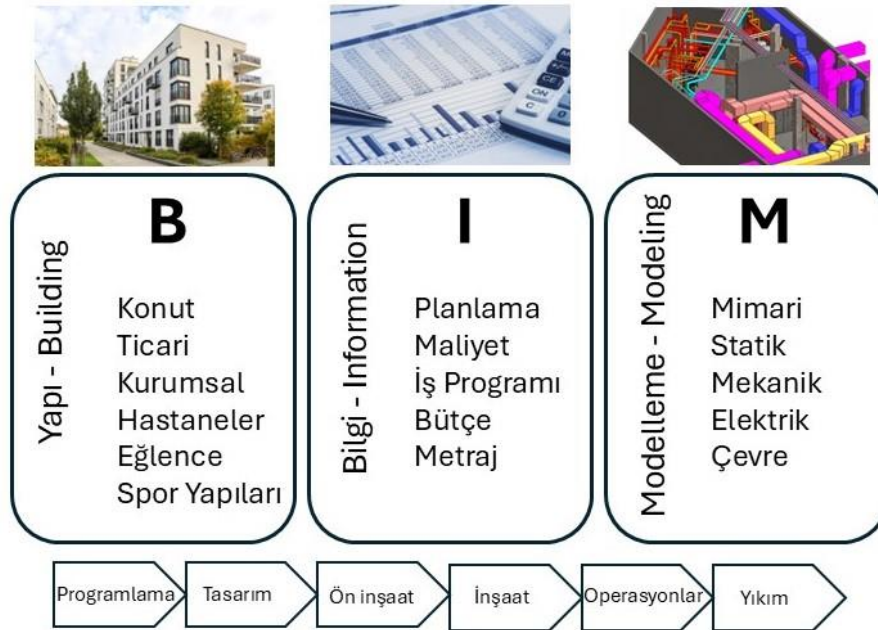
BIM, bir tesisin tek bir sanal modelde disiplinlerini, sistemlerini ve tüm yönlerini sim ler ve tüm paydaşların (mal sahibi, mimarlar, mühendisler, müteahhitler) geleneksel süreçlere göre daha doğru ve verimli bir iş birliği yapmasına olanak sağlar. Modelin oluşturulması projenin fiziksel olarak temel atılmadan önce proje paydaşlarının modelin mümkün olduğunca doğru olduğundan emin olmaları için kendi çalışmalarını mal sahibinin tercihlerine, tasarım amacına ve sistem uyumluluğuna göre sürekli olarak iyileştirmesini ve düzenlemesini sağlar **[Carmona and Irwin, 2007]**.

Geleneksel CAD sistemlerinden farklı olarak BIM, yapıyı oluşturan elemanların birbiriyle olan ilişkilerini modeller. BIM teknolojisi, tasarım ve görselleştirme özelliklerinin yanı sıra planlamaya, programlamaya, performans analizine, süre ve maliyete ilişkin verilerin sağlanması, yapım ile ilgili belgelerin hazırlanması konusundaki gereksinimlerden dolayı yapı üretim sürecinin temelinde yer almaya başlamıştır **[Yaman ve İlhan, 2010]**.

BIM ayrıca, yapı ile ilgili verilerin merkezi olarak depolanmasını ve birden fazla paydaş tarafından erişilmesini sağlar. Bu özelliği görevlerin ve belgelerin tekrarını azaltarak israfı minimuma indirir. Proje yaşam döngüsünün tüm aşamalarında BIM, verimliliği sağlamak ve atıkları azaltmak için sistemleri, paydaşları, iş yapılarını ve uygulamalarını iş birlik  bir tavırla yeni bir proje teslim yaklaşımı olan bütünleşmiş proje teslimini destekler **[Glick and Guggemos, 2009]**.

şekil 2.1’de gösterildiği gibi, bir yapı bilgi modeli, teknolojik açıdan bakıldığında proje planlaması, tasarımı, inşası veya işletimi için gerekli tüm bilgilere bağlantılar

içeren proje bileşenlerinin üç boyutlu modellerinden oluşan bir proje simülasyonudur [Kymmell, 2008, akt. Azhar et al., 2012].



Şekil 2.1: BIM kavramının görsel bir temsili.

2.2. BIM'in Tarihsel Gelişim Süreci

Grafiksel kullanıcı arayüzüne sahip ilk bilgisayar destekli tasarım (CAD) aracı olan "Sketchpad" 1963 yılında bilgisayar grafiklerinin babası olarak kabul edilen, Amerikalı bilgisayar bilimcisi ve internet öncüsü olan Ivan Edward Sutherland tarafından geliştirilmiştir Şekil 2.2. Sketchpad, vektör tabanlı bir çizim ortamında elektronik kalem yardımıyla bilgisayar ekranına çizim yapmaya yarayan bir araç olarak kullanılmıştır. İnşaat sektöründe modelleme programlarına öncülük eden Sketchpad'ler insan-bilgisayar etkileşiminin artmasını sağlamıştır. Ayrıca Sketchpad 1970 ve 1980'lerde, şekil verilerini kaydetme ve görselleştirme özelliğiyle inşaat teknolojisinde geometrinin hesaplamalı temsilini daha da güçlendirmiştir [Akipek ve İnceoğlu, 2007; Paul, 2018].

1980'lerde kişisel bilgisayarların ucuzlamasıyla birlikte bu araçların mimarlık alanında kullanımı artmaya başlamıştır. AutoCAD gibi lisanslı ürünleri içeren bu tür

sistemler, nokta, çizgi ve üç boyutlu basit geometrilere dayanmakta ve yapı geometrisinin oluşumuna olanak sağlamaktadır [Taşlı Pektaş, 2008].



Şekil 2.2: Ivan Edward Sutherland tarafından geliştirilen Sketchpad [Web 2, 2018].

1980’lerde oluşturulan Archicad yazılımı kişisel bilgisayarlar için kullanılacak ilk BIM yazılımı olmuş ve yine bu yıllarda ilk nesne-tabanlı (parametrik) modelleme geliştirilmiştir [Eastman et al., 2011]. İnşaat endüstrisi, 1990’larda nesne-tabanlı (parametrik) yapı modellemesinin varlığını kabul etmiş ve parametrik üç boyutlu modellemeyi kullanmıştır [Masood et al., 2014]. Nesne tabanlı sistemler, oluşturulan modellemedeki nesnelerin geometrisiyle birlikte geometrik olmayan bilgilerini de içerebilir. Aynı zamanda bu sistemler tasarımın doğrudan üç boyutlu bir model olarak üretilmesini sağlar yani birbirinden bağımsız plan, kesit ve üç boyutlu çizimler üretilmez. Böylelikle yapı elemanlarında herhangi bir değişiklik yapıldığında bunun diğer çizimlere etkisi göz ardı edilmemiş olur. Esasen bilgisayar destekli tasarım alanında yapı tasarımındaki paydaşların tek bir model üzerinde çalışmaları uzun yıllar bir ihtiyaç olarak tartışılmış ve nesne tabanlı sistemlerin ortaya çıkması büyük bir heyecan yaratmıştır [Taşlı Pektaş, 2001].

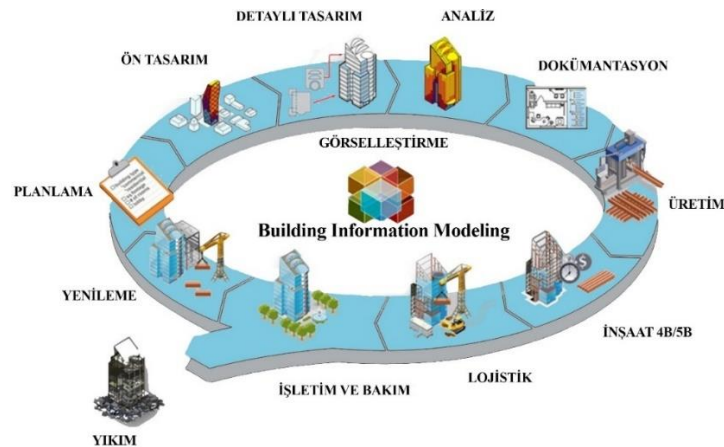
Charles River Software şirketi 2000 yılında daha karmaşık projelerin tasarlanabileceği mimari bir yazılım olan Revit programını geliştirerek BIM uygulamalarına yönelik gerçek bir yön değişimi sağlamıştır. 2002 yılında Revit programını satın alan Autodesk firması, Revit’i kendi nesne tabanlı yazılımı 'Architectural Desktop' ile yoğun bir şekilde tanıtmaya başlamıştır. Revit, görsel programlama ortamı kullanan bir platform oluşturarak BIM dünyasında önemli bir gelişim göstermiştir. Bu durum proje

paydaşlarının BIM modellerine dayalı inşaat çizelgeleri oluşturmasını ve inşaat sürecini simüle etmesini sağladı. 2004 yılında Revit programının Revit 6 versiyonu geliştirilmiş ve proje paydaşlarının üç boyutlu merkezi bir yapı modeli üzerinde çalışabilmesini ve bilgi alışverişinde bulunmasını mümkün kılmıştır [Quirk, 2012].

BIM teknolojisi, mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörlerindeki en umut verici gelişmelerden biridir. Bilgisayar destekli tasarım araçları sadece proje çizimlerini oluşturan bir araç değil dijital veri depolayan, yapı yaşam döngüsünün tüm süreçlerine hizmet eden akıllı bir sistemdir. İyi benimsendiğinde BIM, daha düşük maliyetle, azaltılmış proje süresiyle, daha kaliteli yapılarla sonuçlanan entegre bir tasarım sağlar ve inşaat sürecini kolaylaştırır [Eastman et al., 2011].

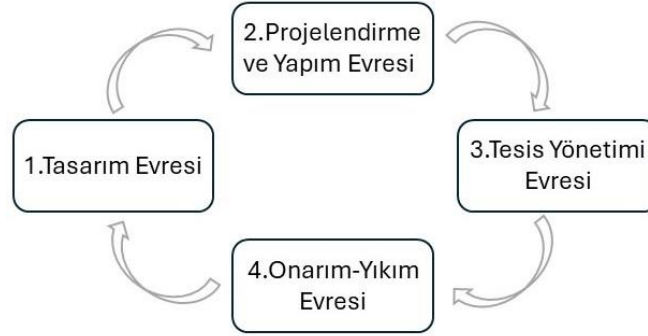
2.3. Yapı Yaşam Döngüsünde BIM Kullanımı

Yapı yaşam döngüsü "yapının en erken konsept varoluşundan yıkımına kadar" olarak tanımlanmaktadır Şekil 2.3. BIM, esasen bir yapı projesinin fiziksel ve işlevsel bilgilerini dijital bir şekilde ifade eden ve yaşam döngüsünün yönetim sürecini somutlaştıran bir veri tabanıdır. Yaşam döngüsü boyunca alınan kararları desteklemek için yapının durumunu yansıtacak şekilde verilerin güncellenmesi gerekir. BIM, yapı yaşam döngüsü boyunca yapı verilerinin bütünleştirilmesini ve yönetilmesini teşvik eder, böylece yönetim için mevcut tasarım verilerinden tam olarak yararlanır. Bu nedenle BIM teknolojisi, yaşam döngüsünün dijital yönetimini mümkün kılar, verimliliği etkili bir şekilde artırabilir, maliyeti kontrol edebilir ve projenin riskini azaltabilir [Meng et al., 2020; Yuan et al., 2019].



Şekil 2.3: Yapı yaşam döngüsünde BIM [Kekhia, 2015].

Yapı yaşam döngüsü, tasarım, projelendirme-yapım, tesis yönetimi, onarım-yıkım olarak dört evreden oluşmaktadır **Şekil 2.4**. Aşağıda BIM yaklaşımının yapı yaşam döngüsü aşamalarında nasıl uygulandığına dair bilgiler verilmiştir.



Şekil 2.4: Yapı yaşam döngüsü evreleri [Ofloğlu, 2014].

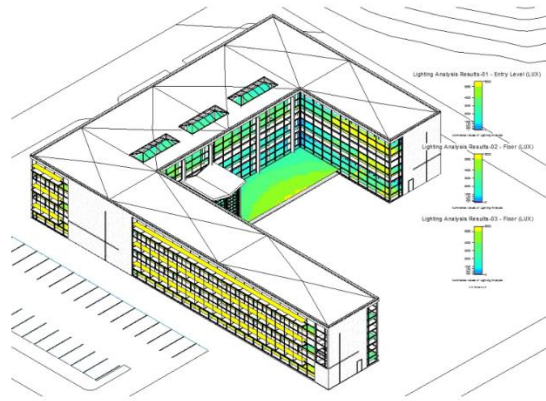
2.3.1. Tasarım Evresinde BIM

Tasarım aşaması, ilk konseptlerin ve fikirlerin ayrıntılı planlara ve çizimlere dönüştürüldüğü inşaat projesi yaşam döngüsünde önemli bir aşamadır. İnşaat süreci için gerekli mimari, yapısal, mekanik, elektrik ve diğer tasarım öğelerinin geliştirilmesini içerir [Aziz et al., 2024]. Tasarım aşamasında BIM kullanımı, bilgileri ve süreçleri iyileştirebilir, hataları ve yeniden çalışmayı azaltabilir [Sacks et al., 2009]. Aynı zamanda, enerji tüketim analizi, çarpışma tespiti, uyumluluk kontrolü ve en iyi tasarım seçeneklerini seçmek için değer analizlerinin geliştirilmesine katkıda bulunur [Azhar, 2011]. BIM kullanımı ayrıca tasarım ekibinin tüm üyelerinin daha verimli ve doğru bir şekilde iş birliği yapmasını sağlar, bu durum özellikle tasarım değişiklikleri durumunda önemlidir [Li et al., 2021].

İnşaat sektöründe kullanılan geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında BIM kullanımı, sonuç elde etme sürecini kolaylaştırır. Bunu gerçekleştirmek için birkaç disiplinin katılımını gerektiren ve çok zaman alan süreçler, BIM kullanılarak kolayca ve kısa sürede gerçekleştirilebilir. BIM teknolojisinin kullanımı, projenin erken aşamalarında belgeler oluşturma yeteneği sağlar ve proje yaşamları boyunca, bu belgeler BIM modelindeki herhangi bir değişiklik ile otomatik olarak güncellenir [Sami et al., 2021].

Tasarım aşamasında BIM'i kullanmanın doğrudan ve anında sonuçları, kaliteyi artırır, zamanı azaltır ve bunun sonucunda işletmenin toplam maliyeti düşer [Azevedo, 2014]. Tasarım aşamasında BIM kullanmanın diğer avantajları, doğru görsellerin tasarım sahibine daha erken aşamada ulaşması, tasarımla ilgili karar almanın desteklenmesi, proje kavramsallaştırmasının kolaylaşması ve kavramların daha net hale gelmesi, hata tanımlamanın iyileştirilmesi ve böylece çatışma hatalarının azaltılması, simülasyonların ve koordinasyonun iyileştirilmesi, tasarım süresinden ve maliyetinden tasarruf edilmesi ve mevcut belgelerin doğruluğunun artırılmasıdır [İbrahim et al., 2019].

Şekil 2.5'te tasarım evresinde BIM ortamında hazırlanan bir gün ışığı analizi çalışması yer almaktadır.



Şekil 2.5: BIM ortamında hazırlanan gün ışığı analizi [Ofloğlu, 2016].

2.3.2. Projelendirme ve Yapım Evresinde BIM

Yapı inşaatı oldukça dinamik bir süreçtir ve inşaat proje yönetimi son derece karmaşıktır. İlerleme simülasyonu, organizasyon simülasyonu ve saha koordinasyonu gibi BIM uygulamaları, tüm binanın inşaat sürecini doğrudan ve doğru bir şekilde yansıtarak inşaat sahasındaki tüm tarafların iletişimini kolaylaştırır. Ayrıca bu aşamada, dijital inşaat, malzeme takibi ve inşaat görselleştirmesi gibi BIM uygulamaları, yapı inşaat sürecinin otomasyonunu ve yapı sisteminin yerinde montaj lojistiğinin planlanmasını ve kontrolünü gerçekleştirir [Meng et al., 2020].

Yükleniciler ve alt yükleniciler, sahada sorunlarla karşılaşmadan önce çakışma tespiti kullanarak olası çakışmaların sahnelenmesi ve tespitinde ayrıca malzeme tahmini ve

tedariğinde BIM inşaat modellerini kullanacaktır. BIM inşaat modelleri, genellikle inşaat sürecindeki belirsizliği azaltmak için inşaatın önce ve inşaat sırasında kullanılan ve yüksek düzeyde ayrıntı içeren modellerdir **[Shemery et al., 2019]**.

BIM destekli yapım evresi yönetimi altı kritik modüle sahiptir: maliyet yönetimi, program yönetimi, kalite yönetimi, güvenlik yönetimi, hizmet alımı ve kabul yönetimi. Maliyet, program, kalite ve güvenliğe ilişkin bilgiler BIM modellerine entegre edilebilir. Bu nedenle, oluşturulan sistem inşaat yönetimini geliştirmek için gerçekçi bir potansiyele sahiptir. Maliyet yönetiminde, ödeme planı, ödeme değişikliği, ödeme kayıtları ve proje denetimleriyle ilgili bilgiler gerçek zamanlı olarak değiştirilebilir, saklanabilir ve güncellenebilir. Program yönetiminde, kontrol için planlanan programı gerçek programla karşılaştırarak oluşabilecek sapmalar izlenir ve analiz edilir. Kalite yönetimi, kalite kontrolü ve kaliteyle ilgili sorun raporlarını içerir. Güvenlik yönetimi, güvenlik yönetim planını ve güvenlikle ilgili zorunlu hükümleri içeren belgelerin yanı sıra personel kayıtlarının, giderlerin ve onay durumunun programlanmasıdır. Hizmet alımı, inşaat aşaması sırasında yürütülen tedarik sözleşmeleri ve tüm yazılı şartnameleri düzenler, ekler ve yükler. Kabul yönetimi ise, tamamlanma anında gerçek bütçeyi ve maliyeti kaydeder, inşa edilmiş çizimleri ve BIM modellerini depolar **[Li et al., 2021]**.

2.3.3. Tesis Yönetimi Evresinde BIM

Tesis yönetimi, inşa edilmiş çevrenin işlevselliğini sağlamak için sahayı, süreci, insanları ve teknolojiyi entegre eden ve birden fazla disiplini kapsayan bir evredir **[Web 3, 2024]**. Tesis yönetiminin amacı, tesis kalitesini arttırmak, sürdürülebilirliği desteklemek, işletme maliyetlerini azaltmak ve enerji verimliliğini yükseltmektir **[Davtalaba and Delgadob, 2014]**.

Tesis yönetimi evresinde BIM uygulaması, geleneksel belgelendirme, bakım, kontrol ve analiz yöntemlerini değiştirir. BIM, tesis yöneticisinin tesis verilerine dakikalar içerisinde erişmesini sağlar, BIM olmadan aynı verilere ulaşmak saatler alabilir. Tesis yönetiminde BIM teknolojisini kullanmak kontrol sistemlerinin uygunluğunu artırır ve işletme bakım maliyetlerini düşürür **[Issa and Olbina, 2015]**.

Tesis yönetimi sürecinin etkinliğini artırmak için Bilgisayar Destekli Tesis Yönetimi (CAFM) ve Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemleri (CMMS) geliştirilmiştir.

Bilgisayar Destekli Tesis Yönetim Sistemleri, BIM veya CAD ile entegre edilmiş sistemlerdir. Tesis yöneticileri departmanda gerçekleşen olayları ve bakımı izlemek için bu yazılımı kullanır. Bilgisayarlı Bakım Yönetim Sistemleri ise tüm tesisin verilerini depolar, aynı zamanda iyileştirici ve planlı bakımı izlemek için kullanılır [Naghshbandi, 2016; Shemery et al., 2019]. BIM modelinin işlenecek çok miktarda verisi vardır. Ancak, BIM, bir CAFM sistemi gibi tesis yönetimi yazılımıyla entegre edildiğinde daha iyi veri yönetimi elde edilebilir [Web 4, 2024]. Bununla birlikte BIM profesyonelleri ve tesis yöneticilerinin projenin erken aşamalarına katılmaları bu entegrasyonun daha sağlıklı olmasını sağlar.

2.3.4. Onarım Yıkım Evresinde BIM

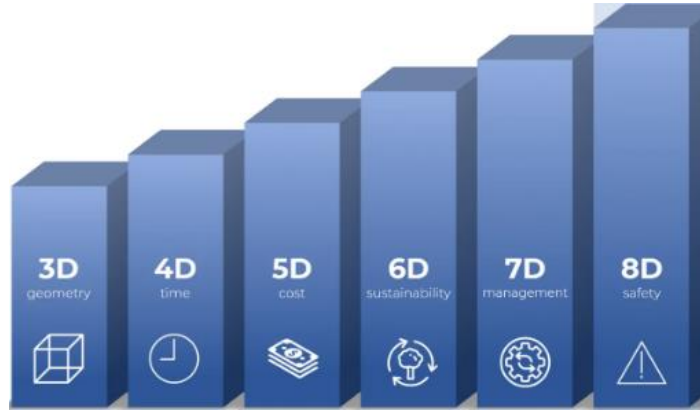
Yapılar zaman içerisinde farklı nedenlerden dolayı fonksiyon değişikliğine uğrayabilir. Eski bir tersane yapısının müzeye dönüşmesi ya da bir okulun yeniden işlevlendirilerek bir kültür merkezine dönüştürülmesi bu duruma örnek olabilir. Bu revizyon durumlarında yapının öncesinde BIM ile hazırlanmış bir proje olması işleri oldukça kolaylaştırmaktadır [Ertaş, 2022].

Sürdürülebilir çevre konusunda dünya çapında artan farkındalıkla birlikte inşaat, yıkım ve atık yönetimi uygulamaları göz ardı edilmemelidir. Atık miktarı tahmini atık yönetimi için çok önemlidir. BIM, yenileme ve yıkım projelerinden kaynaklanan atık miktarını doğru ve rahat bir şekilde tahmin edebilen bir teknolojidir. BIM modeli aracılığıyla malzeme ve hacim bilgileri çıkarılabilir ve veriler ayrıntılı atık tahmini ve planlaması için entegre edilebilir. Geri dönüşüm aşamasını daha verimli ve daha işbirlikçi hale getirmek için BIM tarafından oluşturulan malzeme verileri, yıkım veya yenilemeden önce geri dönüştürücülere sağlanabilir. Atık bertaraf ücreti de BIM aracılığıyla tahmin edilebilir. Bu tahminler müteahhitlere proje planlama aşamasında önceden uyarılar sağlayabilir. BIM teknolojisi, çeşitli yenileme ve yıkım projelerinde kullanılabilir ve proje kontrolünü kolaylaştırmak için genişletilebilir [Cheng and Ma, 2013].

2.4. Çok Boyutluluk (nD)

Çok boyutlu (nD) BIM modeli, aynı sistem üzerinde tüm paydaşların ihtiyaç duydukları bilgileri almalarına olanak sağlayan bir veri tabanıdır. Bu durum tüm proje

yaşam döngüsü boyunca paydaşların verimli ve tutarlı bir şekilde çalışmalarını mümkün kılar (Ding vd., 2014). Çok boyutlu BIM modelleri, 3D (modelleme), 4D (planlama), 5D (maliyet verileri), 6D (sürdürülebilirlik, analiz verileri), 7D (tesis yönetimi) ve 8D (güvenlik, iş sağlığı) olarak tanımlanmıştır **Şekil 2.6 [Smith, 2014b; Web 5, 2024]**. Bu kavramlar aşağıda daha ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.



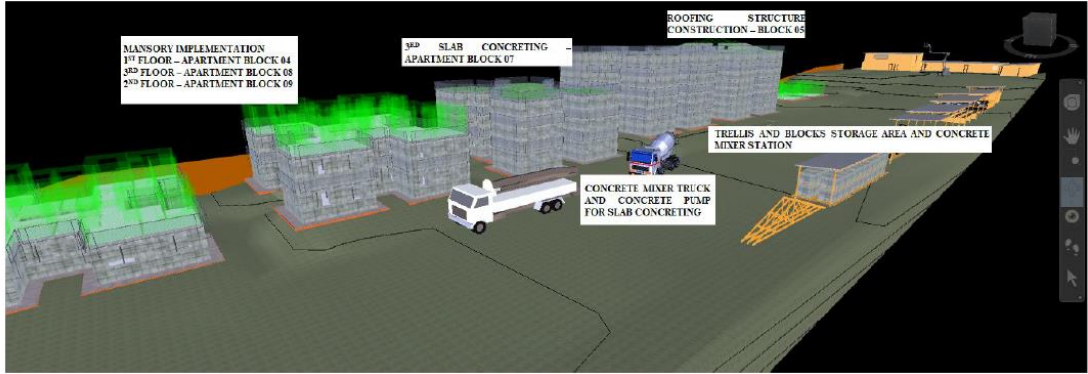
Şekil 2.6: BIM boyutları.

3D boyut: BIM sürecinin temelini oluşturur. Yükseklik, uzunluk ve genişlik gibi üç boyutlu bir yapının veya altyapı projesinin işlevsel ve fiziksel elemanlarını doğru bir şekilde tasvir eden dijital bir modeldir. 3D BIM modeli, paydaşların sanal bir ortamda yapı elemanlarının analizinin yapılmasını ve görselleşmeyi sağlayan akıllı nesnelerden veya bileşenlerden oluşur **[Basir et al., 2023]**.

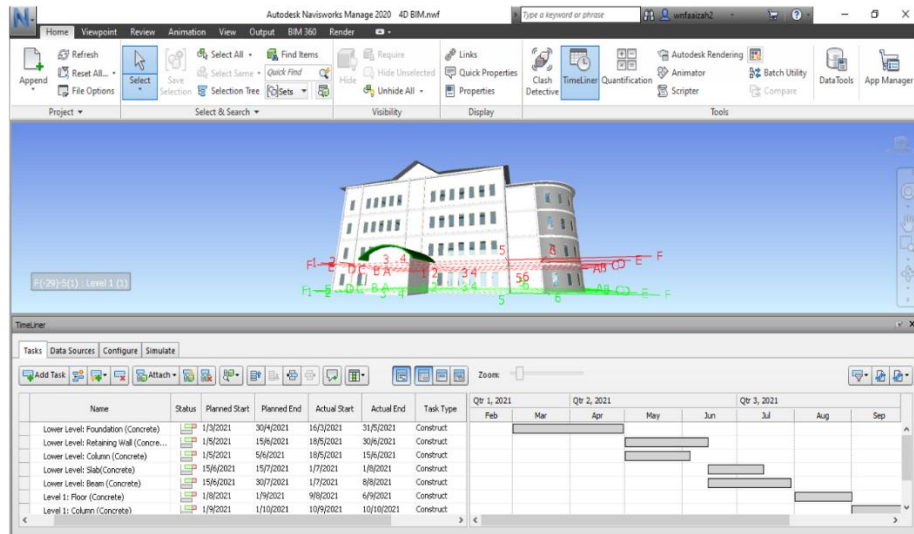
3D BIM modeli, inşaat sektöründe inşa edilebilirlik analizlerinde ve görselleştirmede birincil araç olarak kullanılır ve inşaat aşamasında oluşabilecek riskleri azaltmaya yardımcı olur **[Olsen and Taylor, 2017]**. Bir 3D BIM modeli, geleneksel 3D CAD modellerinden farklıdır. Bunun nedeni 3D CAD modelleri, yalnızca planlar, kesitler ve yükseklikler gibi bağımsız görünümlere sahiptir. Ancak BIM 3D modelinde bu görünümler bağımsız değildir ve görünümlerden biri değiştirilirse, diğerleri de buna göre güncellenmektedir **[Azhar et al., 2008]**.

4D boyut: 3D BIM modeline zaman faktörü dahil edilerek oluşturulur. Projenin zaman içindeki ilerleyişinin görselleştirilmesi amacıyla zamanlama ve inşaat sıralaması verileri 3D BIM modeline aktarılır. 4D BIM ile oluşturulan model, proje planlaması, olası çakışmalar ve inşaat sıralaması gibi konularda farkındalık sağlayan zaman tabanlı bir simülasyon haline gelir **[Basir et al., 2023]**.

Dört boyutlu model, inşaat sahasının yönetimi, gerçek inşaatın gelişimi, inşaat işinin izlenmesi, insan kaynaklarının var olma durumu ve malzeme tedariğinin kronolojik kontrolü için etkin bir destek sağlar [Sampaio et al., 2022]. Şekil 2.7’de inşaat sahası düzenini gösteren dört boyutlu bir model simülasyonu yer almaktadır. Şekil 2.8’de ise dördüncü boyutta BIM planlama verileri gösterilmektedir.



Şekil 2.7: Şantiye düzenini gösteren Navisworks yazılım görüntüsü [Caldart and Scheer, 2022].



Şekil 2.8: 4D BIM planlama verileri [Basir et al., 2023].

5D boyut: Paydaşların projenin maliyet verilerini, 3D model ve inşaat programıyla (4D) entegre ederek yaşam döngüsü boyunca yönetmesini ve görselleştirmesini sağlar. 5D BIM ile oluşturulan model etkin bir maliyet tahmini ve yönetim aracı haline gelir Şekil 2.9.

5D BIM modeli, bir projenin maliyeti hakkında daha hızlı geri bildirim sağlamak için inşaat profesyonelleri tarafından kullanılabilir ve bütçeye uyacak şekilde tasarımcının

proje tasarımını ayarlamasına olanak sağlar. İnşaat sektöründe tam tersi senaryolar sıklıkla görülebilir; mal sahibinin karşılayabileceğinin üzerinde proje maliyetlerinin olduğu hesaplamalar sonucunda ortaya çıkar ve sonuç olarak önemli tasarım revizyonları gerekebilir. 5D BIM modeli, mal sahibine ve tasarım ekibine yüklenicinin bütçesini görmede daha fazla şeffaflık sağlayarak, projenin paydaşları arasında güven oluşturabilir. Bu durum mal sahibi adına büyük bir acil durum masrafına daha az ihtiyaç duyulacağı anlamına gelir [Sattineni et al., 2014].

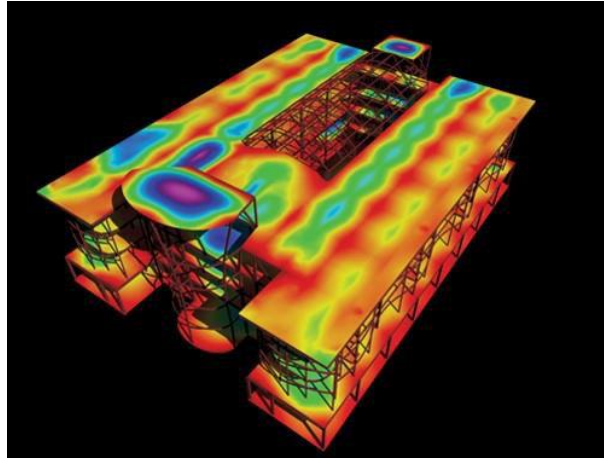
<Door Material Takeoff>			
A	B	C	D
Family and Type	Material Name	Cost	Material Cost
M_Single-Flush: 09	Door - Panel	160.00	80.00
M_Single-Flush: 09	Door - Frame	160.00	95.00
M_Single-Flush: 09	Door - Panel	160.00	80.00
M_Single-Flush: 09	Door - Frame	160.00	95.00
M_Single-Flush: 09	Door - Panel	160.00	80.00
M_Single-Flush: 09	Door - Frame	160.00	95.00
M_Door-Interior-Si	Glass	250.00	115.00
M_Door-Interior-Si	Cherry	250.00	0.00
M_Door-Interior-Si	Aluminum	250.00	0.00
M_Single-Flush: 09	Door - Panel	160.00	80.00
M_Single-Flush: 09	Door - Frame	160.00	95.00
M_Single-Flush: 09	Door - Panel	160.00	80.00
M_Single-Flush: 09	Door - Frame	160.00	95.00
M_Single-Flush: 09	Door - Panel	160.00	80.00
M_Single-Flush: 09	Door - Frame	160.00	95.00
M_Single-Flush: 09	Door - Panel	160.00	80.00
M_Single-Flush: 09	Door - Frame	160.00	95.00
M_Single-Flush: 09	Door - Panel	160.00	80.00
M_Single-Flush: 09	Door - Frame	160.00	95.00
M_Single-Flush: 09	Door - Panel	160.00	80.00
M_Single-Flush: 09	Door - Frame	160.00	95.00

Şekil 2.9: 5D BIM maliyet verileri [Basir et al., 2023].

6D boyut: 3D, 4D ve 5D BIM modeline sürdürülebilirlik ve çevresel veriler eklenerek oluşturulur. Yapının yaşam döngüsü analizi, enerji performansı gibi verilerin dahil edilmesini içerir. 6D BIM ile oluşturulan model, projenin sürdürülebilirlik hedefleri ve çevresel etkisi hakkında bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olur [Basir et al., 2023]. 6D BIM modeliyle birlikte paydaşlar BIM ortamında yaşam döngüsünün erken aşamasında iş birliği yaparak daha sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir sonuca ulaşabilir. 6D BIM, 2D verileri 3D verilere dönüştürerek daha iyi görselleştirme yoluyla inşaat öncesi ve inşaat aşamalarında oluşabilecek hataları azaltabilir ve zamandan tasarruf sağlayabilir. Aynı zamanda 6D BIM, sürdürülebilirlik, gerçek zamanlı yapısal simülasyonlar, durum izleme gibi çeşitli amaçlar için aynı anda

uygulanabildiğinden proje yönetimini destekleyebilir. [Kaewunruen et al., 2020].

Şekil 2.10'da BIM ortamında oluşturulan modelin enerji analizi gösterilmektedir.



Şekil 2.10: 6D BIM modeli enerji analizi [Web 6, 2024].

7D boyut: 3D BIM modeline tesis yönetimi verileri dahil edilerek oluşturulur. İnşaat tamamlandıktan sonra tesisin yaşam döngüsünü desteklemek için oluşturulan modele bakım çizelgeleri, tesis yönetimi ve diğer operasyonel verilerle ilgili bilgiler entegre edilir. 7D BIM, yapının bakımı, bina performansını ve tesis operasyonlarını optimize etmeye yardımcı olur [Basir et al., 2023].

8D boyut: İnşaatın tasarım ve uygulama aşamalarında 3D modele güvenlik bilgisini ekleyen BIM boyutudur. 8D BIM, operasyonel aşamada kullanılacak tüm obje ve ekipmanlarla birlikte üç boyutlu dijital bir şantiyenin oluşturulmasını sağlar. Bu model, hareket halindeki işçiler, makineler, geçici çalışmalar gibi gerçek inşaat alanını yeniden üreten gerçekçi bir modeldir. Amaç, tasarım aşamasında inşaat sahasının genel bir resmini elde ederek işçiler için olası tehlikeleri ve riskleri önlemektir. Böylece tüm olası senaryoları analiz edip, inşaat sahasını önceden ve gerçekçi bir şekilde görselleştirerek, her proje aşamasında oluşabilecek kritik durumları ve tehlikeleri önlemek daha kolay ve etkili hale gelir. Ayrıca 8D BIM, projeye ilişkin her türlü unsurun paylaşılabilmesini kolaylaştırarak, şantiyede güvenlik planlaması da dahil olmak üzere, uygulama aşamasında beklenmeyen risk durumlarının önüne geçer [Web 7, 2024].

2.5. BIM Olgunluk Seviyeleri

BIM olgunluk seviyeleri, BIM uygulamasının sınıflandırılması için sistematik bir çerçeve sağlamaktadır. Bu seviyeler paydaşlar arasındaki iş birliğinin hangi düzeyde olduğunu gösterir. Seviye 0 düşük iş birliği, seviye 1 kısmi iş birliği, seviye 2 tam iş birliği olarak tanımlanırken seviye 3 ise tam entegrasyon olarak ifade edilir. BIM ve BIM öncesindeki aşamayla birlikte toplam dört olgunluk seviyesi aşağıda tanımlanmıştır [Khosrowshahi and Arayici, 2012; Web 8, 2024].

Seviye 0 (Düşük iş birliği): BIM öncesi durumu ve verimsizlikleri kapsayan geleneksel inşaat uygulamasını ifade eder. Projenin sıfır iş birliğini desteklediği ve proje bilgilerinin kâğıt tabanlı 2D CAD çizim tekniklerinden ve yazılı belgelerden oluştuğu seviyedir. Kullanımı zor olan bu durumda oluşturulan belgelerin hasar görme ve kaybolma olasılığı yüksektir. Proje sırasında, kontrolünde ve kullanımında önemli insan hatalarına neden olur. Bilgi yönetim sürecinin zayıflığı işlevsel verimsizliklere, bileşenler arasında çatışmaya, yanlış ilk çalışmaya, planlanan inşaatın eksik anlaşılmasına neden olur. Ayrıca paydaşlar iyi organize olamaz ve ayrıntılarda boğulur. Bunun sonucunda yararlı verileri derlemek ve diğer projelere yaymak zordur. Günümüzde endüstri profesyonelleri tarafından nadiren kullanılan eski bir seviyedir.

Seviye 1 (Kısmi iş birliği): 2D'den 3D'ye geçişi, nesne tabanlı modelleme ve dokümantasyonu ifade eder. 2D yasal onay dokümantasyonu ve üretim bilgilerinin oluşturulması için kullanılırken, 3D kavramsal çalışmalar için kullanılır. BIM modeli, tüm görünümelerde doğru şekilde ifade edilen gerçek mimari elemanlardan oluşur. BIM modeli tek disiplinlidir ve çıktılar çoğunlukla CAD benzeri belgelerdir. Bu seviyede, sorumluluk sorunları ve mevcut sözleşmesel ilişkiler devam etmektedir. Herkes kendi verilerini oluşturup yönettiği için farklı paydaşlar arasında sıfır veya düşük düzeyde iş birliği vardır. Seviye 1 BIM'e ulaşmak için:

- Tüm paydaşların rolleri ve sorumlulukları ana hatlarıyla belirtilmelidir.
- Standart adlandırma kuralı benimsenmelidir.
- Projeye özgü kodların ve mekânsal koordinasyonun oluşturulması ve sürdürülmesi gerekmektedir.
- Tüm ekipler arasında bilgi paylaşımı için Elektronik Belge Yönetim Sisteminin Ortak Veri Ortamının benimsenmesi.
- Belge deposunu destekleyen uygun bir bilgi hiyerarşisi kurmak.

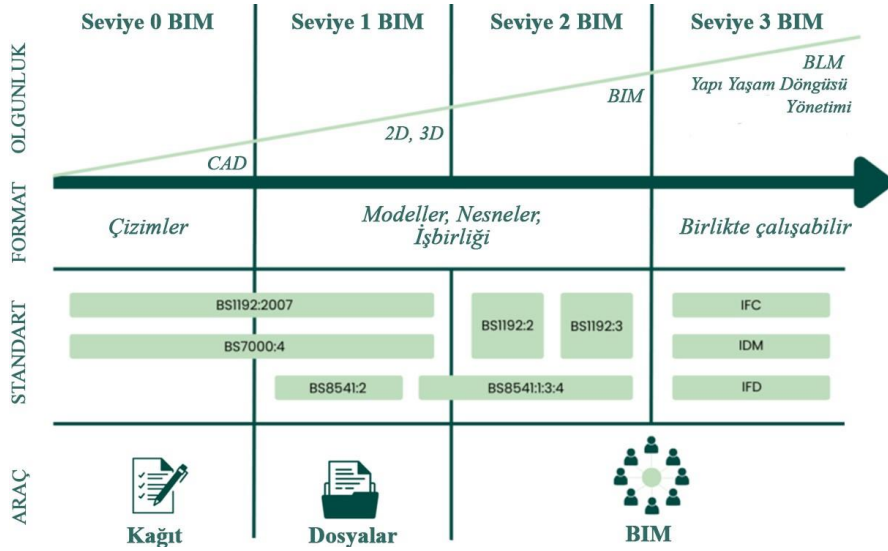
Seviye 2 (Tam iş birliği): Bu seviye, paydaşların her birine kendi 3D CAD modelini vererek işbirlikçi çalışmayı teşvik eder. Bu seviyenin ayırt edici yönü işbirlikçi çalışmadır. Bir yapıyı tasarlamak ve yönetmek için tüm sistemler ve paydaşlar arasında sorunsuz bir iletişim ve kusursuz bir koordinasyon gerektirir. Tüm paydaşlar kendi yerel 3D CAD modelleri üzerinde çalışır ve bilgiler ortak bir dosya biçimi aracılığıyla paylaşılır. Böyle bir sistem, paydaşların verileri kendi modelleriyle birleştirerek birleşik bir BIM Modeli oluşturmalarına olanak sağlar. Seviye 2 BIM'e ulaşmak için:

- Seviye 1'de belirtilen tüm yönergeleri başarmak.
- IFC veya COBie gibi yaygın dosya formatlarını destekleyen CAD yazılımını yüklemek.

Seviye 3 (Tam entegrasyon): Genellikle 'Açık BIM' olarak adlandırılan Seviye 3, merkezi bir depoda depolanan ve paylaşılan bir model aracılığıyla tüm paydaşlar arasında daha derin bir iş birliği vaat etmektedir. Tüm paydaşların aynı model üzerinde aynı anda çalışması sağlanarak çelişkili bilgi olasılığı ortadan kaldırılır. Tüm proje verileri tek bir sunucuda depolanır ve IFC gibi standartlar etrafında oluşturulmuş entegre bir çalışma önerilir. Seviye 3 BIM'e ulaşmak için:

- Proje verilerinin dünya çapında paylaşılmasını kolaylaştıran yeni bir 'Açık Veri' standardının geliştirilmesi.
- İş birliğini teşvik etmek ve tutarlılığı sağlamak için BIM tabanlı projeler için yeni sözleşmesel çerçevelerin oluşturulması.
- BIM tekniklerini kullanmaları için kullanıcılara eğitim verilmesi [Khosrowshahi and Arayici, 2012; Web 8, 2024].

Şekil 2.11'de BIM olgunluk seviyeleri şematik olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.11: BIM olgunluk seviyeleri [Web 9, 2024].

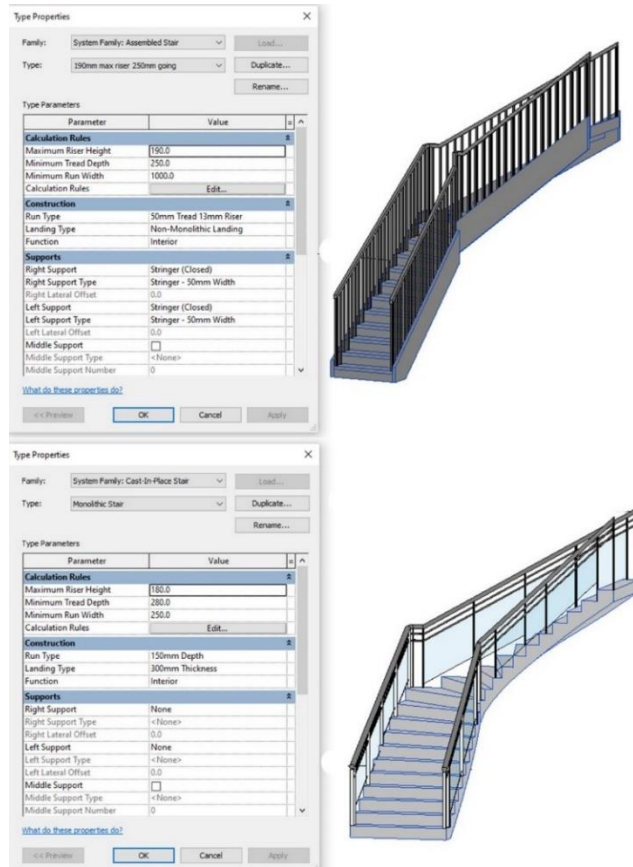
2.6. BIM' in Yapı Sektörüne Getirdiği Yeni Kavramlar

Bu bölümde BIM'in yapı sektörüne getirdiği yeni kavramlar yer almaktadır. Bu kavramlardan parametrik (nesne tabanlı) modelleme, birlikte çalışabilirlik ve IFC, çakışma kontrolü, LOD gelişim düzeyleri, IPD entegre proje teslimi, COBie ve otomatik metraj alma aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

2.6.1. Parametrik (Nesne Tabanlı) Modelleme

BIM tabanlı programlar geleneksel CAD tabanlı programlardan farklı olarak nesneyi temel alan yani parametrik yazılımlara sahiplerdir. BIM yazılımlarında oluşturulan modellerdeki nesnelerde birçok özellik verilerini ekleme veya kolayca şekil değiştirme özelliği bulunmaktadır. Örneğin BIM tabanlı bir programda bir kapı elemanı hazır nesne olarak karşımıza çıkar daha sonra kapıya ait verilerle ve gerekli düzenlemelerle özgün haline getirilir. Aynı zamanda kapıya ait tüm veriler nesne içerisinde gömülüdür. Böylece bu bilgilerle gerekli görülen alanlarda çalışmalar yapılabilir. Örneğin modelde oluşturulan pencerelerin ısı geçirgenlik katsayı verileriyle ısı yalıtım hesaplamaları otomatik olarak yapılabilir. CAD tabanlı programlarda ise BIM tabanlı programlardan farklı olarak nesneler oluşturulurken çizgi grupları kullanılır [Akkoyunlu, 2015].

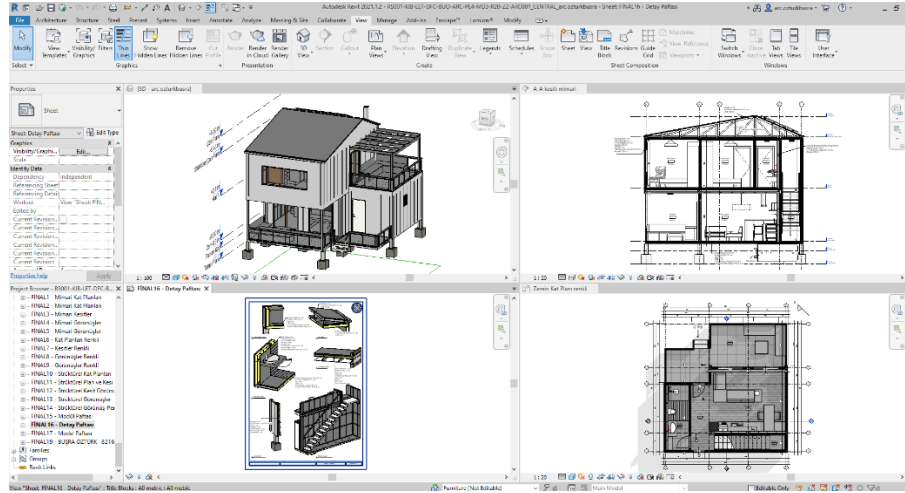
BIM programı içerisinde üretilen modellemede yer alan her nesnenin özelliklerine göre parametreler farklılaştığında diğer bir ifadeyle sayısal değişiklikler yapıldığında oluşturulan nesne değişerek son halini alır. **Şekil 2.12**'de bir merdiven nesnesi üzerinde parametreler değiştirilerek farklı bir merdiven elde edilmiştir. Üstteki merdivenden kopyalanarak ve farklı sayısal veriler kullanılarak, merdiven tipi, korkuluk tipi, korkulukların konumu, rıht yükseklikleri, basamak genişliği, merdivenin özellikleri ve yan kapama kısımları ile ilgili değişiklikler yapılarak, farklı parametrelere sahip yeni bir merdiven oluşturulmuştur. Bu işlem parametrik modelleme sayesinde hızlı bir şekilde gerçekleşirken aynı işlem geleneksel CAD çizimlerinde çok daha uzun süreli olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı zamanda tasarım aşamasında birden fazla kez nesneler üzerinde değişikliklerin yapıldığı düşünülürse parametrik modellemenin önemi daha da artmaktadır [Topal, 2019].



Şekil 2.12: Parametrik modelleme.

Parametrik modellemenin en önemli özelliklerinden biri de tasarım aşamasında oluşturulan üç boyutlu modelin plan, kesit, görünüş ve detay paftaları ile tam etkileşimli olmasıdır. İki boyutta yapılan tasarımın nesne yerleşimi ya da değişimi

yapılırken tasarıma bağlı olarak üç boyutlu model kendiliğinden oluşmakta ve yine bu boyutta tasarım kontrolleri sağlanabilmektedir [Kuytan, 2021]. Şekil 2.13'te Revit'te oluşturulan üç boyutlu modelin plan, kesit ve detay paftalarının tam etkileşimli arayüzü gösterilmektedir.

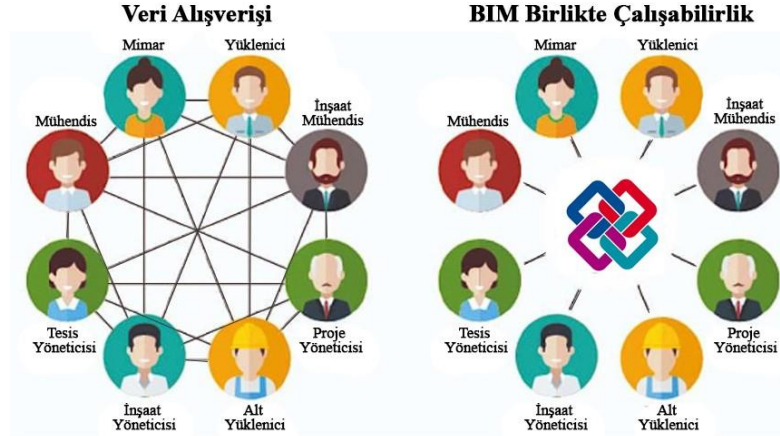


Şekil 2.13: Revit arayüzü, parametrik modelleme.

2.6.2. Birlikte Çalışabilirlik ve IFC

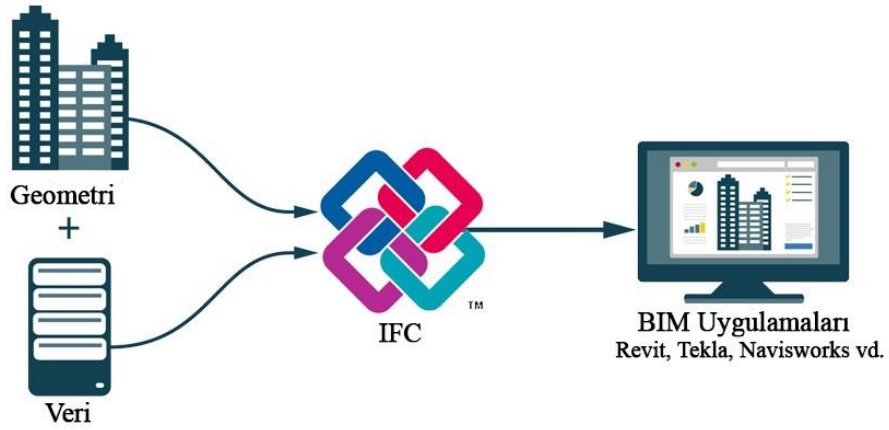
İnşaat sektöründe karşılaşılan problemlerden biri yapı projelerinin yürütülmesinde proje paydaşlarının kullandığı programların, yazılımların birlikte çalışamamasıdır. Farklı disiplinler arasındaki veri alışverişi ve yönetiminin dijital platformlarda eş zamanlı yürütülememesi projenin yaşam döngüsü süreçlerinde çeşitli zorlukları da beraberinde getirmektedir. Oluşturulan farklı yazılımlardaki modeller uyumsuzluğa neden olmakta ve bunun sonucunda proje süreçlerinde zaman kaybı ve maddi kayıplar yaşanmaktadır. Karşılaşılan olumsuzluklar yapı sektöründe temelli bir değişiklik ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [Şimşek, 2020]. Geleneksel yöntemlerde paydaşlar arasındaki veri alışverişi direkt birbirleriyle olurken, diğer paydaşların bu verilerden ya da projeye ilgili yapılan değişikliklerden haberdar olamaması gibi problemler yaşanmaktadır. Örneğin bir projede kolon boyutlarında gerçekleşecek revizyonun kararını bir mimar ve inşaat mühendisi aralarındaki iletişimle alırken bir mekanikçi bu revizyondan haberdar olamayabilir ve projenin diğer aşamalarında bu durumdan kaynaklı ciddi sorunlar yaşanabilir. Fakat BIM teknolojisinin gelişimi, projeye ilgili tüm verilerin tek bir merkezde toplanarak tüm proje paydaşlarının da bu merkez model

üzerinde veri paylaşımı yapabilmesini ve birlikte çalışabilmesini mümkün kılmıştır. Ortak bir platformda proje paydaşlarının verimli iletişim sağlayabilmeleri ve birlikte çalışabilmeleri BIM yazılımlarıyla mümkündür [Uzun, 2019]. Şekil 2.14'te geleneksel yöntemle veri alışverişi ve BIM sistemiyle birlikte çalışabilirlik şematize edilmiştir.



Şekil 2.14: Geleneksel yöntemle veri alışverişi ve BIM sistemiyle birlikte çalışabilirlik [Web 10, 2024].

IFC ise farklı yazılımlarda yapılan modellerin diğer yazılımlarda kullanılabilmesi için buildingSMART tarafından oluşturulmuş ve ortak bir dil kullanmaları için geliştirilmiş bir uzantıdır. IFC formatındaki dosyalarla tek bir yazılıma bağlı kalmadan farklı disiplinlerin dijital modelleri oluşturulur. Farklı yazılımlar arasındaki veri alışverişinde ortak bir dosyalama formatı kullanılarak veri akışı sağlanmış olur [Tel, 2021]. Örneğin Revit programı ile çizilen bir proje IFC dosya uzantısı olarak kaydedildikten sonra başka bir IFC destekli programla açılabilir. Bu durum farklı çizim programı kullanan diğer paydaşların birlikte çalışabilmesi kolaylaştırır. Mimar ve mühendisler IFC uzantısını kullanarak inşaat ile ilgili uygulamalar arasında veri alışverişi yapabilirler ve bunun sonucunda zaman ve maliyet kaybını geleneksel yöntemlere kıyasla azaltmış olurlar [Altınok, 2020]. Şekil 2.15'te IFC'nin çalışması şematik olarak gösterilmiştir.

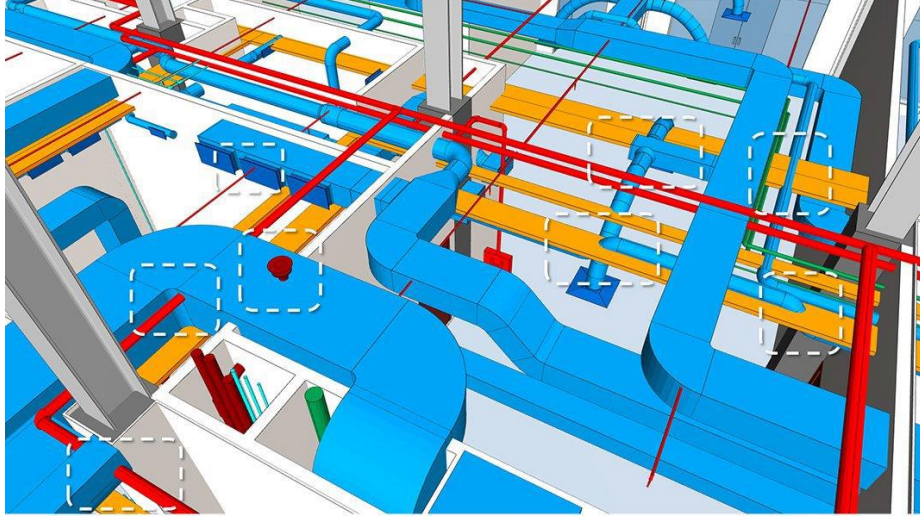


Şekil 2.15: IFC’ nin çalışması [Web 11, 2021].

2.6.3. Çakışma Kontrolü

Çakışma kontrolü, farklı disiplinlerce oluşturulan ve entegre olan BIM modelleme aşamasının önemli bir parçasıdır. Mimarlar, inşaat mühendisleri, MEP mühendisleri (Mekanik, Elektrik, Tesisat) ve diğer paydaşların birbirinden bağımsız oluşturdukları modellemelerin BIM sayesinde entegrasyonu ile birlikte kapsamlı bir ana model oluşturması sonrasında çakışma tespiti devreye girer [Çamurcu, 2022].

Geleneksel iki boyutlu tasarım araçlarına göre BIM tabanlı modellemeler erken tasarım aşamasında fark edilmesi zor olan bazı sorunları ya da disiplinler arası gerçekleşen çakışmaları tespit ederek ortaya çıkarır. CAD ortamında oluşturulan projelerde alt yapı sistem entegrasyonunun zor olması çakışma tespitinde BIM’in varlığını önemli kılmaktadır. Mimari, statik, mekanik ve elektrik gibi projelerin tasarım aşamasında entegre edilmesiyle yapılan çakışma kontrolü yapım öncesinde tespit edilebiliyor olması sebebiyle maliyet, işgücü ve zaman ile ilgili oluşabilecek olumsuzlukları en aza indirir. Ayrıca çakışmalar BIM programları sayesinde hem rapor hem de grafiksel olarak oluşturulabilir [Erdik, 2018]. Şekil 2.16’da çakışma tespitinin yapıldığı görsel yer almaktadır.

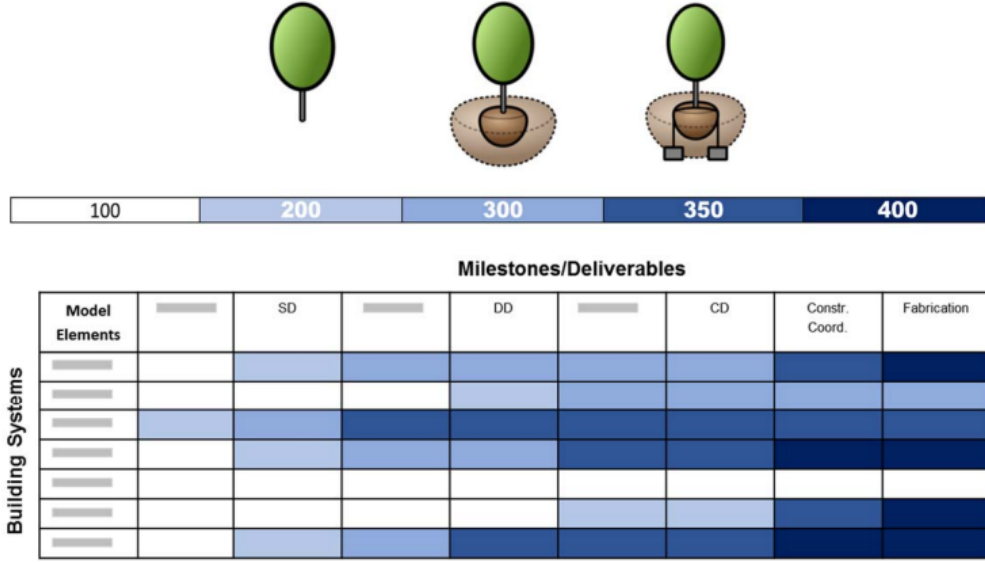


Şekil 2.16: Çakışma kontrolü [Web 12, 2016].

2.6.4. Gelişim Düzeyi (LOD/Level of Development)

LOD kavramı, BIM ortamında oluşturulan model elemanlarının, projenin tasarım aşamasından yapım aşamasına kadar hangi seviyede ne kadar veriyle tanımlanacağını belirtir. LOD numaralarıyla modeldeki elemanların geometrik ve veri içeriklerinin seviyesi belirlenmektedir. Örneğin; LOD 300, LOD 400 gibi. Aynı zamanda farklı kurumlar LOD tanımlamaları hakkında şartname, tablo ve standart çalışmaları yapmaktadır. Yapılan çalışmalarda amaç BIM modelindeki verilerin ilerleyişini açıklayarak daha kaliteli projeler elde etmektir [Web 13, 2019].

2008 yılında Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA) tarafından BIM protokolü için ilk gelişim düzeyi tanımları yayınlanmıştır. 2011 yılında ise BIMForum, LOD Şartnamesinin geliştirilmesini başlatmış ve ana disiplinlerin hem tasarım hem de inşaat yönünden katkıda bulunanlardan oluşan bir çalışma grubu oluşturmuştur. AIA, LOD şemasının tutarlı kullanımını ve standardizasyonunu daha da ilerletmeye ve temel olarak kullanılabilirliğini artırmaya yardımcı olmak için BIMForum'a bu şartnamede en son LOD tanımlarını kullanma lisansı vermiştir. LOD şartnamelerinde 2013'ten 2021'e kadar olan versiyonlarda yer alan LOD tanımları, AIA 2013 Dijital Uygulama belgeleri paketindeki tanımlardan ve BIMForum'un temel yorumlarından oluşur [Web 14, 2023]. Şekil 2.17'de 2023 yılında BIMForum tarafından oluşturulan LOD gelişim düzeyleri şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.17: BIMForum (2023) LOD gelişim düzeyleri [Web 14, 2023].

“Temel Gelişim Düzeyleri” tanımlamaları aşağıda yer almaktadır [Web 14, 2023].

LOD 100; oluşturulan modeldeki eleman genel bir gösterimle grafiksel olarak veya bir sembolle ifade edilir. LOD 200’de tanımlanan özellikleri barındırmaz. Kavramsal tasarım olarak ele alınabilir. Modeldeki elemanla ilgili bilgiler (örneğin metrekaşe başına maliyet gibi) diğer model elemanlardan türetilebilir. LOD 100 gelişim düzeyinde model elemanlarının mutlaka geometrik temsiller olması beklenmez. Model elemanın varlığı gösterilir ancak elemanın şekli, boyutu ve kesin konumu yaklaşık olarak ifade edilir. Temel anlamda, eğer bir eleman hakkında bilgi modelden elde edilebiliyorsa ancak eleman LOD 200’de değilse, gelişim düzeyinin LOD 100’de olduğu söylenir.

LOD 200; oluşturulan modeldeki eleman yaklaşık miktar, şekil, konum, boyut ve yönelimle genel ve grafiksel olarak ifade edilir. LOD 200 elemanları genel yer tutuculardır ayrıca bileşenler (örneğin bir aydınlatma armatürü, bir pompa, bir giriş, gibi) olarak tanımlanabilirler. Model elemanında oluşturulan herhangi bir bilgi bu gelişim düzeyinde yaklaşık olarak ifade edilir.

LOD 300; oluşturulan modeldeki eleman tasarlandığı haliyle, miktarı, şekli, konumu boyutu ve yönelimi ölçülebilecek şekilde model içinde grafiksel olarak ifade edilir. Grafiksel olmayan bilgiler de model elemanına eklenebilir. LOD 300’de model elemanları, temsil edilen öge için tasarım amacını tam olarak aktarmaya yetecek kadar

geliştirilmiştir. Ayrıca proje tasarımcıları nadiren 300'ün üzerinde model elemanları oluşturmaktadır.

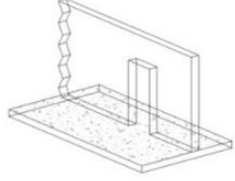
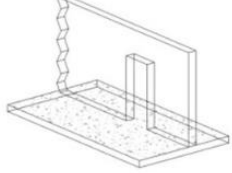
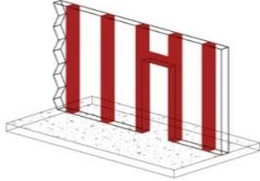
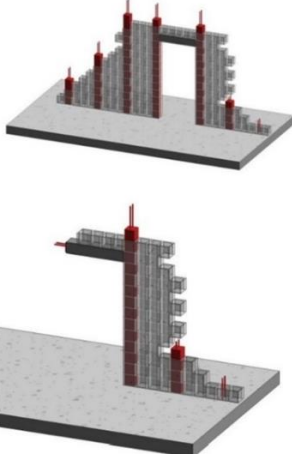
LOD 350; oluşturulan modeldeki eleman tasarlandığı haliyle, miktarı, şekli, konumu boyutu, yönelimi ve bağımlı veya bitişik model elemanlarıyla arayüzleri ölçülebilecek şekilde model içinde grafiksel olarak ifade edilir. Grafiksel olmayan bilgiler de model elemanına eklenebilir. LOD 350, inşaat düzeyinde koordinasyonu desteklemek amacıyla yeterince geliştirilmiş model elemanlarına yönelik gereksinimleri tanımlar. Bu LOD genellikle zanaat bilgisi gerektirir. Tasarım ekibi zanaat bilgisine sahipse model elemanlarını 350 ve daha fazla olacak şekilde geliştirebilir.

LOD 400; oluşturulan modeldeki eleman grafiksel olarak, üretim, montaj ve kurulum için yeterli ayrıntı ve doğrulukta ifade edilir. Yapıma yönelik bir tasarım oluşturma amaçlanır. Grafiksel olmayan bilgiler de model elemanına eklenebilir. Aslında LOD 400, atölye çizimleri düzeyinde geliştirilen bir model elemanını tanımlar. Bir projenin özellikleri bir elemanın atölye çizimlerini gerektiriyorsa, proje ekibi modeldeki elemanı LOD 400'de modelleyebilir.

LOD 500; LOD 400'den daha yüksek bir düzeyi göstermez; bunun yerine, elemanın geometrisinin gelecekteki bir elemanın tasarımından ziyade mevcut bir elemanın gözlemlenmesiyle belirlendiğini ifade eder. Bu düzeyde model elemanının saha doğruluğunun belirtilmesini gerektirir. LOD şartnamesi, daha yüksek bir model elemanı geometrisi olmadığından LOD 500 detay seviyesini tanımlamaz.

Bir iç duvarın LOD gelişim düzeyleri üç boyutlu görsellerle **Tablo 2.1**'de yer almaktadır.

Tablo 2.1: İç duvarın LOD gelişim düzeyleri [Web 14, 2023].

100	N/A	
200	See C1010.10	
300	See C1010.10	
350	Inclusions • All penetrations at actual rough-opening dimensions. • Any regions that would impact coordination with other systems such as: • Bond Beams & Lintels • Jams	
400	Inclusions • Individual masonry units • Reinforcement • dowels • Grouting	

2.6.5. Entegre Proje Teslimi (IPD/Integrated Project Delivery)

BIM, IPD'yi destekleyen en güçlü araçlardan biridir. BIM teknolojisi, tasarım, üretim bilgileri, montaj talimatları ve proje yönetimi lojistiğini tek bir veri tabanında birleştirir ve projenin tasarımı ve inşası boyunca iş birliği için bir platform sağlar. BIM ortamında oluşturulan modeller projenin daha erken aşamalarında daha doğru maliyetlendirme ve tahminleme yapılmasına olanak tanır. BIM kullanımı, saha, zaman veya finans kısıtlamaları göz önüne alındığında son derece karmaşık projelerin verimli bir şekilde geliştirilmesine olanak tanır [Web 15, 2007].

BIM bir araçtır, bir proje teslim yöntemi değildir ancak IPD süreç yöntemleri BIM ile beraber çalışır ve aracın yeteneklerinden yararlanır. IPD proje ekibi, modelin nasıl kullanılacağı, geliştirileceği, erişileceği ve modellerle katılımcılar arasında bilgilerin nasıl paylaşılacağı konusunda bir anlayışa ulaşır. Böyle net bir anlayış olmadan, model yanlış veya istenmeyen bir şekilde kullanılabilir. Yazılım seçimleri işlevsellik ve birlikte çalışabilirlik temelinde yapılır. Modellerin sürece entegre edilmesi için teknoloji platformları ve BIM olmazsa olmazdır ve projenin tüm düzeylerde yararına iletişimi teşvik eder. Modellenecek ayrıntı düzeyi, belirli kullanımlar için gereken toleranslar ve modelin hizmet edeceği amaçlar (örneğin, modelin maliyet verilerini geliştirmek için kullanılıp kullanılmayacağı ve bir sözleşme belgesi olarak işlev görüp görmeyeceği) hakkında kararlar alınır ve belgelenir. Bir sözleşme belgesi olarak hizmet ediyorsa, modeller ile diğer sözleşme belgeleri arasındaki ilişki belirlenir. Model, maliyet verilerini geliştirmek için kullanılıyorsa, maliyet bilgilerinin nasıl oluşturulacağı ve değiştirileceği konusunda protokoller geliştirilir. Ayrıca, modeli barındırma, yönetme ve arşivleme yöntemleri belirlenir. Bu kararlar ve protokoller, BIM'in IPD'de etkili kullanımı için hayati önem taşır. Yukarıda tartışılan iletişim kararları ve protokollerine benzer şekilde, BIM kararları ve protokolleri en iyi şekilde ortak çalıştaylar aracılığıyla geliştirilir. Tüm kararlar belgelenir ve modeli kullanacak herhangi bir katılımcı için kolay erişilebilir hale getirilir, böylece proje boyunca modelin tutarlı bir şekilde kullanılması sağlanır **[Web 15, 2007]**.

IPD ve BIM destekli teslim yönteminin projenin erken aşamalarında daha koordineli ve planlı bir çalışma gerektirmesi diğer geleneksel yöntemlere göre iş yükünü artırmaktadır fakat son ürüne ulaşılırken elde edilen veriler daha hızlı, daha doğru ve daha az problemlidir. Bu teslim yöntemiyle son ürünün bir paydaşa ait olmadığı ve bunun ortak bir son ürün olduğu değerlendirilebilir. IPD yönteminin BIM teknolojisiyle birlikte ilerlemesi paydaşların projenin her aşamasında bir araya gelmesini sağlamakta ve belirli bir sistematikte kurgulanması iletişimi kuvvetlendirmektedir. Bilginin kolayca müdahale edilebildiği, dönüştürüldüğü, güncel tutulduğu ve paylaşıldığı bir ortam olan BIM, iletişimin iki boyuttan çoklu boyutlara taşınmasında önemli rol oynamaktadır **[Dönmezer, 2022]**. **Şekil 2.18'**de geleneksel ve IPD teslim yöntemleri şematik olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.18: Geleneksel Teslim Yöntemi- IPD Teslim Yöntemi [Web 13, 2007, akt. Dönmezer, 2022].

2.6.6. COBie (The Construction to Operations Building information exchange)

İnşaat operasyonları bina bilgi değişimi (COBie) kavramı, tesis varlıklarını yönetmek ve sürdürmek için kullanılan verilerin standart bir organizasyonunu sağlar. İlgili tasarım çizimlerinde bulunan tüm alan, ürün ve ekipman programlarının yanı sıra uygulama sırasında elde edilen inşaat, işletme ve bakım gibi verilerin bir derlemesinin birleştirilmiş bir kümesidir. COBie, proje ekiplerinin bir tesisin bakımı için gerekli verileri dijital formatta sunması için standartlaştırılmış bir yöntem sağlar. Bu durum tesis sahibinin tesis bakım sistemini ihtiyaç duyulan verilerle hızlı ve doğru bir şekilde uygulamasına olanak tanır. COBie, aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir devir teslim gerçekleştiğinde kullanılabilir [Web 16, 2024]:

- Yeni inşaatın sonunda
- Bir yenilemenin sonunda
- Mevcut bir tesisin mülkiyeti veya yönetimi değiştiğinde

COBie binalarla sınırlı değildir. Binaları içermeyen altyapı projelerinde bakımı yapılabilir elemanlarla ilgili verileri hızlı bir şekilde iletmek için kullanılabilir. Her ne kadar altyapı projeleri için optimize edilmemiş olsa da COBie aynı zamanda küçük ve orta ölçekli projelerde çalışacak şekilde uyarlanabilir. COBie standardının amacı, proje ekiplerinin bir tesisin bakımı yapılabilir elemanlarıyla ilgili verileri dijital formatta yakalamalarına ve iletmelerine yardımcı olmak ve böylece tasarım ve inşaatın sonra teslim ile tesis yönetim sisteminin bu bakımı yapılabilir elemanların operasyonlarına ve bakımına başlaması arasındaki gecikmeyi azaltmak veya ortadan kaldırmaktır. COBie, tüm proje paydaşları dahil olduğunda başarılı olur. Bunlara mimarlar, mühendisler, müteahhitler, tedarikçiler, komisyoncu acenteler ve tesis sahibi dahildir. Her paydaşın, proje sırasında söz konusu tesisin bakımı yapılabilir

elemanlarıyla ilgili bilgileri COBie dijital formatında sağlamada bir rolü vardır. Bu veriler, projede belirtilen kilometre taşlarında teslim edilir ve proje tesliminde tam bir teslimatla sonuçlanır [Web 16, 2024].

Bir COBie dosyası aşağıdaki ekran görüntüsünde gösterildiği gibi inşaat ekibinin tüm üyelerinden ve birçok bilgi modelinden yapılandırılmış başlıkları içerir. **Şekil 2.19** örnek bir "Tip" çalışma sayfasını göstermektedir. Bu, genellikle şartnameden çıkarılacak bilgidir ve binadaki ürün tiplerini, referanslarını ve üretici için iletişim bilgilerini listeler [Hamil, 2018].

	Name	CreatedBy	CreatedOn	Category	Description	UnitType	Manufacturer	ModelNumber
227	Pre-planted vegetation blankets	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 45 57 91 65 : Pre-planted vegetation	Pre-planted vegetation blankets			
228	Rootball securing assembly	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 45 63 64 72 : Rootball securing frame	Rootball securing assembly		enquiries@greenleaffrees.co.uk	SASDMA
229	Stakes	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 45 63 64 84 : Stakes	Stakes		sales@jacksons-fencing.co.uk	Tree Stakes
230	Tree grilles	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 45 63 64 87 : Tree grilles	Tree grilles		msf.sales@marshalls.co.uk	OLTG204, OLT
231	Tree guards	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 45 63 64 88 : Tree guards	Tree guards		msf.sales@marshalls.co.uk	OLTR301, OLT
232	Corrosion inhibitor chemicals for	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 55 96 15 : Corrosion inhibitor chem	Corrosion inhibitor chemicals	Submit proposals.		
233	Scale inhibitor chemicals for op	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 55 96 77 : Scale inhibitor chemical	Scale inhibitor chemicals	Submit proposals.		
234	Dosing pots	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 55 97 07 : Biocide dosing pots ; Pr	Dosing pots	Submit proposals.		
235	Gas fired condensing boilers	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 60 08 34 : Gas fired condensing bo	Gas fired condensing boilers	Submit proposals.		
236	Storage water heaters, gas fired	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 60 96 34 : Gas-fired storage water	Storage water heaters	Submit proposals.		
237	Immersion heaters	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 60 96 42 : Immersion heaters	Immersion heaters	Submit proposals.		
238	Low temperature hot water heat	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 60 65 37 47 : Low temperature hot wa	Low temperature hot water heaters	Submit proposals.		
239	PVC-U solid wall below ground	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 07 88 : Unplasticized polyvinyl	PVC-U solid wall below ground	Submit proposals.		
240	Covers and gratings for floor g	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 24 30 : Floor gully covers and g	Covers and gratings for floor gullies	Submit proposals.		
241	Floor gullies	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 24 31 : Floor gullies	Floor gullies	Submit proposals.		
242	Freestanding grease traps and c	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 25 32 : Free-standing grease tra	Freestanding grease traps and catchers	WPL Ltd Sewage Treatment & Rain Water		
243	Pressure gauges	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 34 66 : Pressure gauges	Pressure gauges	Contractor's choice.		
244	Temperature gauges	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr 65 52 34 88 : Temperature gauges	Temperature gauges	Contractor's choice.		

Şekil 2.19: Tipik bir COBie elektronik tablosundaki “Tür” çalışma sayfası [Hamil, 2018].

2.6.7. Otomatik Metraj

Proje süreçlerinin son evrelerinde yapılan metraj alımları, genellikle kısıtlı vakitlerde yapılmasına ve yapılan değişimlerde projeye geri dönüşlerin az olmasına rağmen maliyet verileri açısından önemli bir aşamadır. 2D metraj çıkarmada genellikle çizilen proje üzerinden manuel olarak Excel programına aktararak hesaplamalar elde edilir. Bazen bu hesaplamalar bu alanda uzmanlaşmış farklı ekipler tarafından yapılır. Hesap tabloları oluşturulduktan sonra yapılan malzeme revizelerinin maliyet kıyaslamaları nadiren yapılmaktadır. BIM araçlarının gelişmesiyle çizgi tabanlı modellemelerden nesne tabanlı modellemelere geçiş olmuş ve bu durum metraj alımlarında kolaylıklar

temsil eder ve bir projedeki tüm paydaşların rollerinin entegrasyonunu teşvik eder [Azhar, 2011]. BIM'in avantajları ve zorlukları ile ilgili farklı kaynaklardan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Migilinskas et al. [2013] 'Pratik BIM Uygulamasının Faydaları, Engelleri ve Sorunları' makalesinde BIM teknolojisinin benimsendiği vaka çalışmalarında BIM'in avantajları aşağıda yer almaktadır.

- Hazırlanan tek 3D modelde görselleştirme, yapı analizi, tesis yönetimi ve metraj listesi hazırlanmış ve metraj verileri sayesinde yüklenici ve tedarikçiler arasındaki iletişim süreci önemli ölçüde kolaylaşmıştır.
- Ortaya çıkan olası sorunlar erken aşamada fark edilmiş ve gecikmeler ortadan kalkmıştır. Bu durum inşaat kalitesini ve hızlı teslim sürecini olumlu etkilemiştir.
- BIM teknolojisi, çok sıkışık bir inşaat sahasında, inşaat süreçlerinin planlanması, yönetilmesi ve şantiyeye malzeme teslimatı sırasında çok yardımcı olmuştur.
- BIM, yapısal ve teknoloji açısından kritik noktaları ve alanları önceden tanımlamayı ve kritik iş hazırlıklarının zamanında yapılmasını sağladı.
- BIM modelinden üretilen iş paketi miktarları, belirlenen zamanda ihtiyaç duyulan malzeme ve ürün siparişlerindeki "İnsan doğası" hatalarını en aza indirdi.
- BIM teknolojisinin etkin kullanımı, tasarım disiplinleri arasındaki birlikte çalışabilirliğin kontrol edilmesine yardımcı oldu ve atölye tasarımı aşamasında proje değerinden yaklaşık %0,5 oranında tasarruf sağlandı.
- Doğru metraj listeleri, tedarikçiler için fazla ödemenin en aza indirilmesine olanak sağladı.
- Vinçlerin ve yapıların olası çarpışmalarını önlemek için önceden gerçekleştirilmesi gereken inşaat sürecini ve sanal iş uygulama yönetimini simüle etmek için bir 3D model olarak kullanıldı.

Criminale and Langar [2017] 'BIM Uygulamasındaki Zorluklar: Literatür İncelemesi' çalışmasında BIM'in zorlukları konusunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- BIM'i kullanacak kişileri eğitmek için gereken süre.

- BIM'i kullanacak kişileri eğitme maliyeti.
- Paydaşların alışkanlıklarını değiştirmek.
- BIM kullanımını değerlendirmek için resmi bir standart veya sürecin olmayışı.
- Kullanılan verilerin/bileşenlerin kime ait olduğunun belirlenmesi.
- Veri girişinden kim sorumludur/kim yönetir?
- Donanım maliyeti.
- Yazılımlar arasında uyumluluk sorunları.

2.8. Yapı Sektöründe BIM Kullanımı

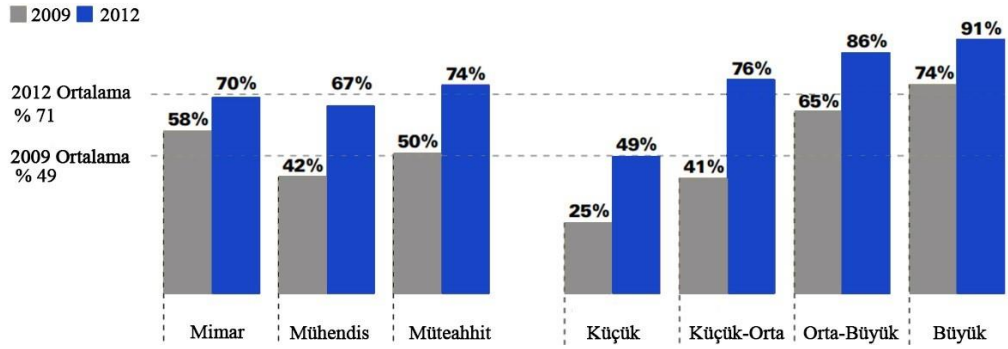
Yapı sektöründe BIM kullanımı, dünyada ve Türkiye’de olarak iki başlık altında incelenmiştir. Dünya ülkelerinde BIM kullanımının yıllara göre gelişimi, proje paydaşlarının yıllara göre BIM kullanım oranları, Türkiye’de BIM uygulamalarının hangi seviyede olduğu ve hangi proje tiplerinde kullanıldığı gibi konular aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

2.8.1. Dünyada BIM Kullanımı

BIM, inşaat sektörü için hem fırsatlar hem de zorluklar sunar. İnşaat projelerinde BIM uygulaması dünyanın birçok yerinde ivme kazanmaktadır. Birçok ülke, Kuzey Amerika, Birleşik Krallık ve İskandinavya bölgesinin genel olarak öncülük ettiği başarılı uygulama stratejileri geliştirmektedir. Bu stratejilerden biri, BIM uygulaması için kritik bir itici güç olarak koordineli hükümet desteğidir. Diğer önemli stratejilerden biri de ulusal ve küresel BIM standartlarının geliştirilmesi, sorumluluk sorunlarını ele alan yasal protokoller, BIM sertifikasyonu, eğitim ve öğretimdir [Smith, 2014a].

McGraw Hill Construction, 2007'den beri sektördeki BIM kullanımını araştırarak ve proje paydaşlarına yönelik kapsamlı anketler yaparak oluşturduğu raporlarla BIM çalışmalarına destek vermektedir. Bu anketler sonucunda küresel inşaat endüstrisinde BIM kullanımının olumlu yönde bir artış yaşadığı görülmektedir. McGraw Hill Construction’ın raporunda, BIM'in Kuzey Amerika’da sektör genelinde benimsenmesi 2007'de %28'den 2012'de %71'e yükselmiştir. BIM kullanımı 2012’de müteahhitlerde %74, mimarlarda %70 ve mühendislerde %67 oranındadır. 2012’de BIM benimsenmesinde büyük ve orta büyüklükteki firmaların yaklaşık %90’ı BIM ile

ilgilenirken, küçük firmaların yarısından azı %49'ı BIM ile ilgilenmektedir **Şekil 2.21 [McGraw Hill, 2012]**.



Şekil 2.21: Proje paydaşlarının yıllara göre BIM kullanımı/ Firma büyüklüğüne göre BIM'in kullanımı.

2011 yılında İngiltere'de BIM için beş yıllık kademeli uygulama planı oluşturulmuştur. Buna göre 2016 yılına kadar tüm kamu sektöründeki inşaat projelerinde minimum ikinci seviyede BIM kullanılması zorunluluğu getirilmiştir. Bu uygulama sayesinde yaşam döngüsü maliyetlerini ve karbon tüketimini %20 oranında azaltmak ve hizmetleri dünya çapında talep gören verimli, entegre ve işbirlikçi bir sektör hedeflenmiştir **[McGraw Hill, 2014]**.

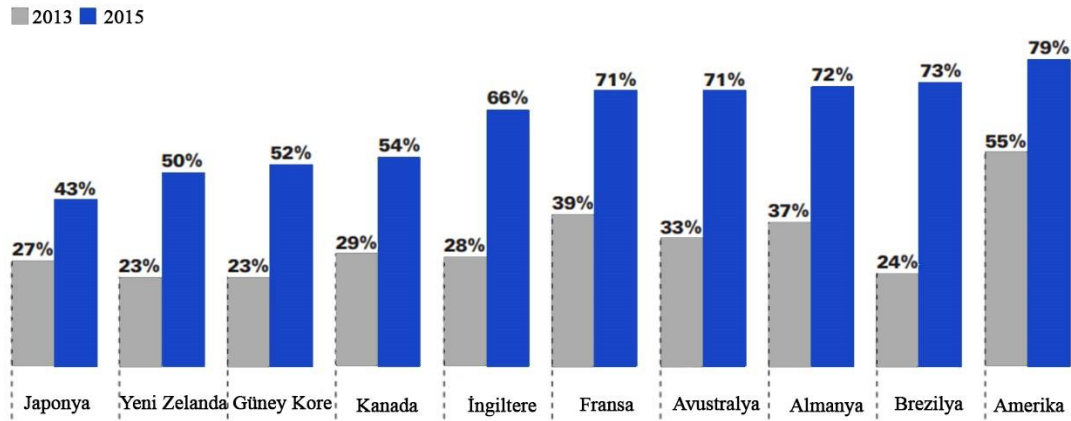
Singapur 2010 yılında sektörde BIM'i benimsemek için gereken kaynakları, araçları, teşvikleri ve bilgileri sağlamak için beş yıllık uygulama planını ortaya koydu ve 2015 yılında sektörünün %80'inin BIM kullanmasını hedefledi. Bu hedefler, 2013 yılında 20000 metrekare üzerindeki tüm yeni bina projelerinin mimari onayları için zorunlu BIM kullanımı, 2014 yılında 20000 metrekare üzerindeki tüm yeni bina projelerinin mühendislik onayları için zorunlu BIM kullanımı, 2015 yılında 5000 metrekare üzerindeki tüm yeni bina projelerinin mimari ve mühendislik onayları için zorunlu BIM kullanımıdır. Ayrıca hükümet sektörün üretkenliğini %20 ila %30 oranında artırmayı amaçlamıştır. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi, sektörlerinin yerel ve bölgesel pazarlarda rekabetçi kalabileceği anlamına gelecektir **[McGraw Hill, 2014]**.

Norveç hükümeti için bir gayrimenkul portföyünü yönetmekle görevli bir kurum olan Statsbygg, 2010'dan beri tüm yeni ve yenileme projelerinde BIM'i zorunlu kılmaktadır. Orduya ait gayrimenkullerden sorumlu kurum olan Norveç Savunma Emlakları Ajansı (NDEA), binaların tüm yaşam döngüsü boyunca verimliliğini artırmak amacıyla

2012'de bir BIM stratejisi oluşturdu. Aynı zamanda Norveç'teki büyük hastaneler IFC tabanlı BIM kullanmaktadır [McGraw Hill, 2014].

Finlandiya'da, devlet mülkiyet hizmetleri ajansı Senate Properties, 2007'den beri projelerinde BIM kullanımı zorunlu kılınmaktadır. Birçok kamu mülkiyeti ve hükümet müşterisi de Danimarka ve İsveç'teki projelerinde BIM kullanmasını istemekte. Ayrıca ArchiCAD'in bir BIM tasarım aracı olarak yüksek oranda benimsenmesi, dosya ve bilgi paylaşımı için IFC'nin yüksek oranda kullanılması, İskandinav tasarım ve inşaat sektörlerinde BIM uygulamalarının hızla benimsenmesine yol açmıştır [Dodge Data & Analytics, 2014].

Güney Kore'nin BIM katılım ve uygulama düzeyinin, diğer ülkelere kıyasla nispeten düşük olduğu belirlenmiştir. Güney Kore'nin çok 'yüksek teknoloji' bir ülke olarak ünü ve okul eğitiminde bilgi teknolojisinin kullanımında küresel liderlerden biri olması göz önüne alındığında bu şaşırtıcıdır. 2013 ve 2015 yıllarında Dünya ülkelerinin BIM kullanım oranlarına bakıldığında ABD, %79 oranla lider durumdadır. Brezilya ise %24'lük bir orandan başlayarak %73'e ulaşarak üç kattan fazla bir artış ile BIM kullanım oranının en çok arttığı ülkeyi temsil etmektedir Şekil 2.22 [Dodge Data & Analytics, 2014].



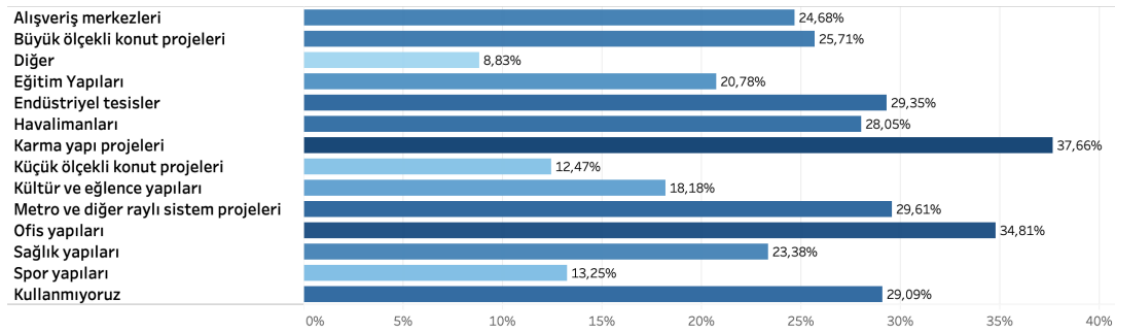
Şekil 2.22: 2013 ve 2015'te Dünya ülkelerinin BIM kullanım oranları.

2.8.2. Türkiye'de BIM Kullanımı

Dünya ülkelerinde BIM kullanım oranları Türkiye'ye göre oldukça yüksektir. BIM kullanımı bazı Dünya ülkelerinde zorunlu olmuşken Türkiye'de henüz başlangıç aşamasındadır. Bazı Türk firmaları uluslararası projelerde yaptıkları çalışmalarda BIM

tecrübesi kazanmaktadır fakat bu düşük bir orandır. Son yıllarda yerli sözleşmelerde BIM şartının aranmasıyla birlikte firmaların da BIM'e geçişi söz konusudur. Türkiye için yeni bir konsept olan BIM teknolojisi bir yöntem değişiminin yanı sıra bir kültür değişimidir. BIM teknolojisinin Türk inşaat sektörünün geleneksel çalışma sistemine benzememesinden ötürü firmaların BIM'e geçişleri ve bu değişime adapte olmaları zaman almaktadır [Öktem, 2016].

Türkiye BIM raporu sonuçlarına göre BIM temelli çalışma pratiğinin en yaygın olarak uygulandığı proje tipi %37,66 ile karma yapı projeleridir. Daha sonra sırasıyla %34,81 ile ofis yapıları, %29,61 ile metro ve raylı sistem projeleri, %29,35 ile endüstriyel tesisler karma yapı projelerini takip etmektedir **Şekil 2.23**. Bazı belediyelerin BIM temelli çalışmayı zorunlu tuttuğundan ötürü BIM kullanımının kompleks karma yapı projeleri, metro projeleri gibi proje tiplerinde daha yaygın olması olağandır. Aynı zamanda yüksek nitelikli projelerden olan havalimanı projelerinde de BIM temelli çalışma pratiğinin yaygın olduğu görülmektedir. Özetle BIM kullanımının yaygın olduğu proje tipleri BIM farkındalığın yüksek olduğu projelerdir [Başyazıcı, 2020].



Şekil 2.23: BIM uygulamalarının kullanıldığı proje tipleri [Başyazıcı, 2020].

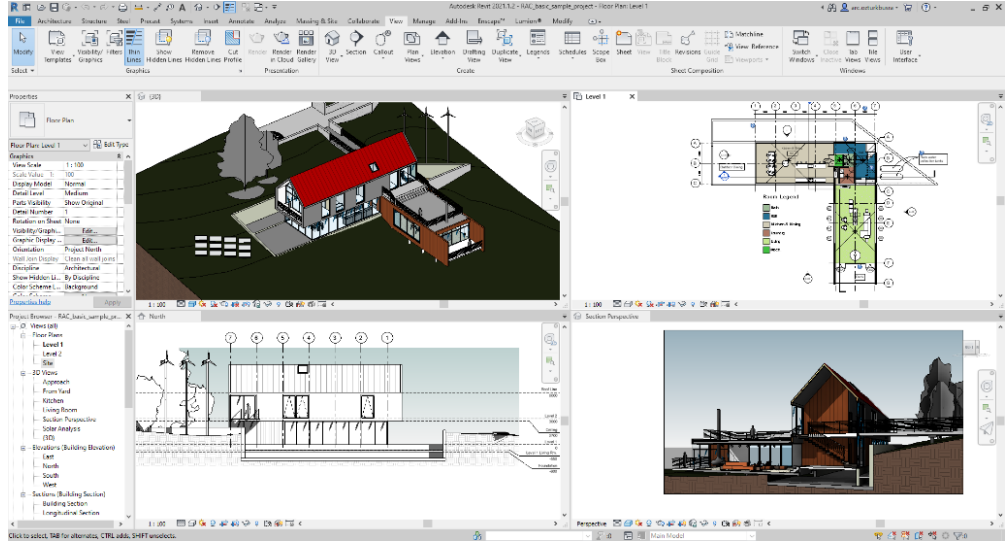
Türkiye’de BIM’in adaptasyon sürecini önemli ölçüde etkileyen faktörlerden bahsetmek gerekirse sektördeki paydaşların ve yöneticilerin BIM kullanımındaki yetersizliğidir. Öncelikli olarak sektördeki paydaşlara ve yöneticilere BIM farkındalığını aşmak gerekmektedir. Bu durumda hem kamu ve özel sektör kurumlarına hem de üniversitelere önemli roller düşmektedir. Üniversite müfredatlarında BIM temelli derslere yer verilerek yapı sektöründe BIM hakkında bilgi sahibi kullanıcıların yetişmesi sağlanabilir. Ayrıca BIM eğitimi için gerekli harcamalar üniversitelerin ve bazı kurum ve kuruluşların düzenleyeceği eğitimler, konferanslar ve seminerlerle minimuma indirilebilir. Türk yapı sektöründe BIM

kullanımının önüne geçen diğer bir sorun ise ulusal bir standardın olmayışıdır. Bu nedenle yetkili kurumlar aracılığıyla ulusal BIM standartları, kanun ve yönetmelikleri, BIM kılavuzları hazırlanıp BIM kullanımını zorunlu kılan uygulamalarla BIM'in teşviki sağlanmalıdır. Sektördeki paydaşların ve yöneticilerin ise uzun vadeli sağlanabilecek faydalar için değişen süreçlere ve yeni teknolojilere uyum sağlaması gerekmektedir [Erdik ve Tülübaş Gökuç, 2020].

2.9. BIM Tabanlı Yazılımlar

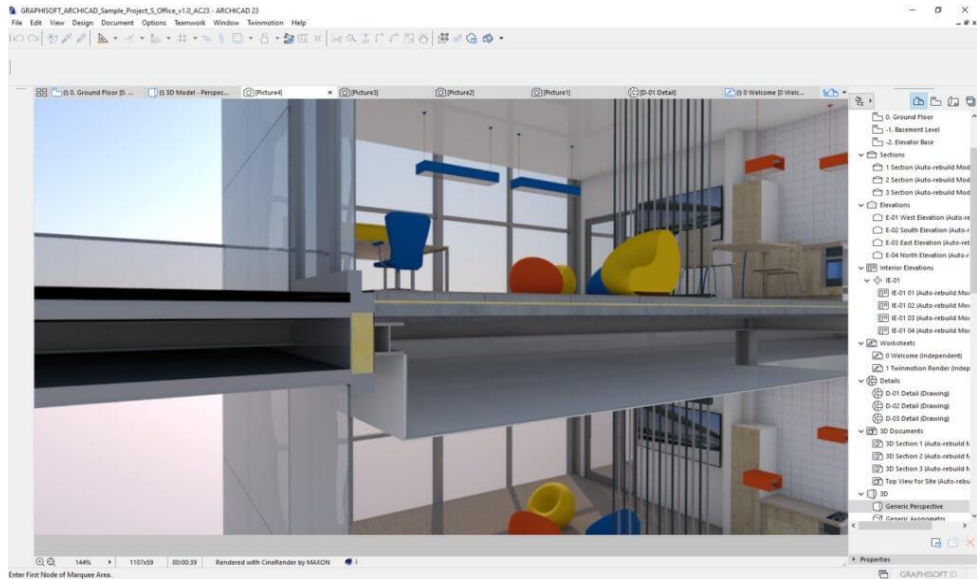
BIM yazılımları bina yapımında çeşitli şekillerde kullanılabilir: mimar tarafından tasarım modelleme ve çizim üretimi için, bir mühendis tarafından yapısal veya enerji verisi yönetimi için, bir müteahhit tarafından tesis yönetimi, ürün detaylandırması veya inşaat koordinasyon modeli geliştirmek için [Eastman et al., 2011]. Yazılım firmalarının ürettiği birçok BIM ürünü bulunmaktadır. En çok kullanılan BIM tabanlı yazılımlardan Revit, Archicad, Bentley ve Tekla aşağıda arayüz görselleriyle birlikte açıklanmaktadır.

Revit, mimari tasarımda BIM için en iyi bilinen ve güncel pazar lideridir. Autodesk, Revit programını bir startup şirketinden satın aldıktan sonra 2002 yılında Autodesk tarafından tanıtıldı. Revit, farklı bir kod tabanı ve dosya yapısıyla AutoCAD'den farklı bir platformdur. Çizimlerden modele çift yönlü düzenleme sunar. Revit, yeni özel parametrik nesnelerin geliştirilmesini ve önceden tanımlanmış nesnelerin özelleştirilmesini destekler. Revit, özellikle destekleyici uygulama yelpazesi nedeniyle güçlü bir platformdur. Hem kendileri hem de üçüncü taraflar tarafından geliştirilen çok geniş bir nesne kütüphanesi setine sahiptir. Çift yönlü çizim desteği, çizelgeler dahil olmak üzere çizim ve model görünümlerinden bilgi güncellemelerine ve yönetimine olanak tanır. Aynı projede eş zamanlı çalışmayı destekler [Eastman et al., 2011]. Şekil 2.24'te Revit yazılımının arayüzü yer almaktadır.



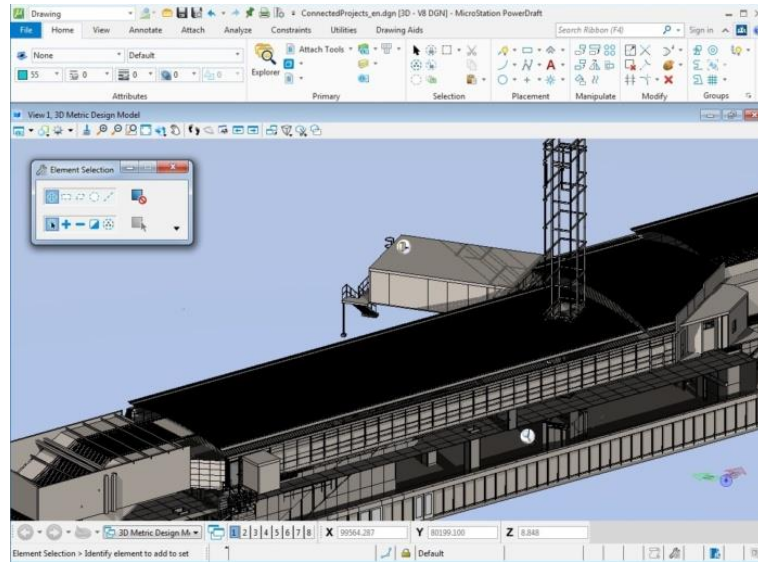
Şekil 2.24: Revit arayüzü.

ArchiCAD, Graphisoft firmasının bir ürünüdür. ArchiCAD, mimarlara eksiksiz 3B model tasarımı, güçlü otomatik plan üretimi, dikey ve kesit inşaat tasarımı, parametrik hesaplamalar ve kolay proje sunumu sağlar. İş akışı merkezleştirilmiştir ve diğer yazılımlar sanal bina verilerinin oluşturulması ve analizinde yer alabilir. ArchiCAD IFC standartlarını destekler, bu da çeşitli yazılımlara bağlanmayı ve kullanmayı kolaylaştırır. ArchiCAD tabanlı bina çözümleri, sanal bina verilerinden kapsamlı bir şekilde yararlanır ve bina iş akışının tüm yönlerini kapsar. Küresel pazar için bir ürün olarak ArchiCAD, ilk temel BIM modelleme yazılımlarından biridir [Liao, 2022]. Şekil 2.25'te ArchiCAD yazılımının arayüzü yer almaktadır.



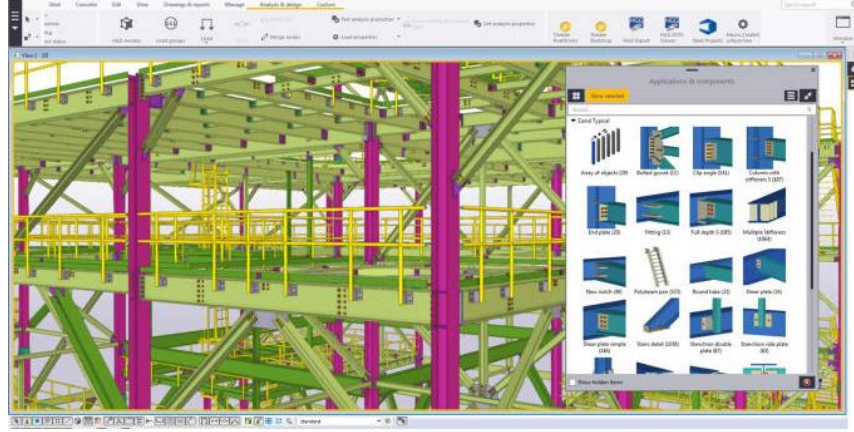
Şekil 2.25: ArchiCAD arayüzü [Web 18, 2024].

2004 yılında sunulan mimari BIM platformu Bentley Architecture, Triforma yazılımının bir evrimidir. En son yazılım, mimarlık, mühendislik ve inşaat için kullanılan MicroStation'dır. Binalar, yollar, köprüler, kamu hizmetleri sistemleri, demir yolu hatları, iletişim ağları, atık su ağları, su, işleme tesisleri, madencilik de dahil olmak üzere tüm altyapı türlerinin ek işlemlerinde kullanılabilir. Analiz yetenekleri ve veriler, animasyonlar ve renderlar dahil olmak üzere tasarımların performans simülasyonunu mümkün kılar. Günümüzde çok sayıda büyük ve karmaşık inşaat projelerinde, altyapı ve endüstriyel projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır [Liao, 2022; Logothetis et al., 2015]. Şekil 2.26'da Bentley yazılımının arayüzü yer almaktadır.



Şekil 2.26: Bentley arayüzü [Web 19, 2020].

Tekla Structures, malzemenin veya yapının karmaşıklığından bağımsız olarak doğru bir şekilde ayrıntılı ve son derece inşa edilebilir 3D modellerin oluşturulmasını ve yönetilmesini sağlayan bir BIM yazılımıdır. Tekla modelleri, kavramsal tasarımdan inşaata ve yapının yönetimine kadar tüm yapı sürecini kapsamak için kullanılabilir. Yazılım, diğer mevcut uygulamalarla arayüz oluşturmak veya dahili özelleştirilebilir bir çözüm geliştirmek için bir platform olarak kullanılabilir. Standardizasyonu ve birlikte çalışabilirliği destekleyen bir yazılımdır. Özellikle betonarme ve çelik konstrüksiyon projeleri için kullanılan yazılım daha çok inşaat mühendisleri tarafından kullanılmaktadır [Logothetis et al., 2015; Web 19, 2020]. Şekil 2.27'de Tekla yazılımının arayüzü yer almaktadır.



Şekil 2.27: Tekla arayüzü [Web 19, 2020].

BIM yazılımları ve hitap ettiği disiplinler **Tablo 2.2**'de mimari, strüktür, MEP, sürdürülebilirlik, tesis yönetimi ve yapım simülasyonu başlıkları altında yer almaktadır.

Tablo 2.2: BIM yazılımları ve hitap ettiği disiplinler [Özorhon, 2018].

MİMARİ	STRÜKTÜR	MEP
- Autodesk Revit Architecture - Bentley Architecture - CADDSoft Envisioneer - Graphisoft ArchiCAD - Gehry Technologies Digital Project Designer - Nemetschek Allplan Architecture - Nemetschek Vectorworks Architecture - RhinoBIM - Softtech Spirit - 4MSA IDEA Architectural Design (Intelli CAD)	- Autodesk Revit Structure - Autodesk Robot Structural Analysis - Bentley RAM, STAAD ve Prosteel - Bentley Structural Modeler - CypeCAD - Graytec Advance Design - Nemetschek Allplan Structure - StructureSoft Metal Wood Framer - Tekla Structures - 4MSA Strad ve Steel - Nemetschek Scia	- Autodesk Revit MEP - Bentley Hevacomp Mechanical Designer - CADMEP - Gehry Technologies Digital Project MEP System Routing - Nemetschek Allplan AX3000 - 4MSA FineHVAC, FineLIFT, FineELEC ve FineSANI
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	TESİS YÖNETİMİ	YAPIM SİMÜLASYONU
- Autodesk Ecotect Analysis - Autodesk Green Building Studio - Bentley Hevacomp - Bentley Tas Simulator - DesignBuilder - Graphisoft EcoDesigner - IES Solutions Virtual Environment VE-Pro	- Bentley Facilities - EcoDomus - FM: System FM: Interact - Nemetschek Allplan Alfa Onuma System - Vintocon ArchiFM	- Autodesk Navisworks - Bentley ConstrucSim - Glue - Innovaya - Solibri Model Checker - Synchro Professional - Tekla BIMSight - Vela Field BIM - Vico Office Suite

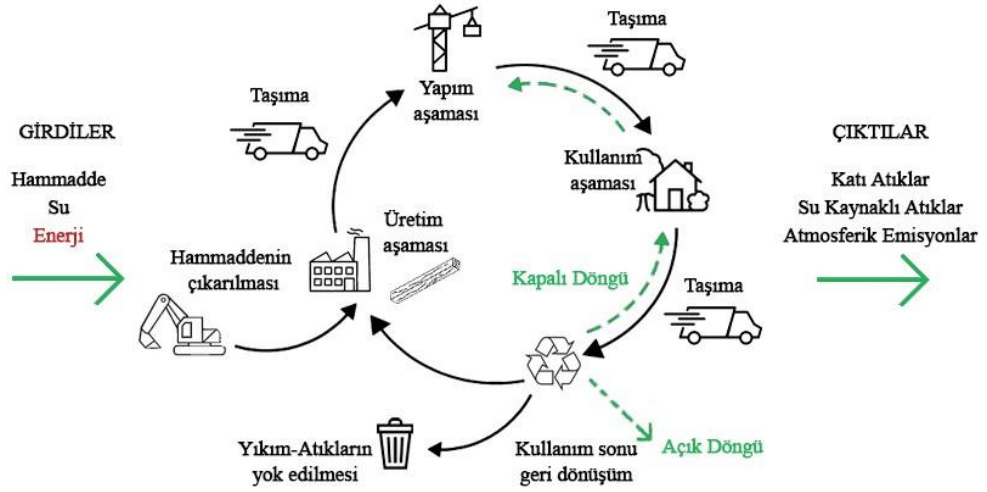
3. YAPILARDA ENERJİ TÜKETİMİ VE LCA METODOLOJİSİ

Bu bölümde yapı yaşam döngüsünde enerji kullanımı, operasyonel ve gömülü enerji kavramları, gömülü enerjinin önemi, yapı yaşam döngüsünde enerji analizi kavramı, çevresel etki ve enerji hesaplamalarında kullanılan LCA metodolojisi, çevresel ürün beyanı ve LCA analizlerinde kullanılan yazılımların veri tabanlarıyla birlikte çalışma yapısı detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

3.1. Yapı Yaşam Döngüsünde Enerji Kullanımının Yeri

Çevre, yaşamda oluşturulan ortamları ve var olan ilişkileri kapsar. Yapı ise kullanıcı gereksinimlerini baz alarak tasarlanmış ve inşa edilmiş yapma çevredir. Yapının yaşam döngüsü, yapıyı oluşturan ham maddenin doğadan elde edilmesiyle başlayan ve yapının kullanımının sona ermesiyle yıkımı gerçekleşen, sıra ile birbirini takip eden süreçler bütünüdür. Yapı yaşam döngüsü süreçleri sırasıyla; ham maddenin çıkarılması, üretim aşaması, yapım aşaması, kullanım aşaması, yıkım aşaması ve kullanım sonu geri dönüşümüdür. Ayrıca her süreç arasında gerçekleşen ürünün taşınması da yaşam döngüsü kapsamındadır. Yaşam döngüsü süreci boyunca yapı ürünleri çevreyle sürekli olarak bir etkileşim halindedir. Bu etkileşimi göz ardı etmemeleri için tasarımcıların yapı projelerinde ürün bazında doğru kararlar alabilmeleri gerekir [Taygun ve Balanlı, 2005]. Yaşam döngüsü kapalı ya da açık olabilir. Kapalı döngü, kullanımı sona eren yapı ürününün, tekrar tekrar geri dönüştürülebilen bir ürüne dönüştürülmesi, A ürünü tekrardan A ürünü oluyor; açık döngü, yapı ürününün, farklı bir yapı ürünü üretiminde kullanılmak üzere geri dönüştürülmesi, A ürünü geri dönüşüm sonrası B ürünü oluyor [Vigon et al., 1993].

Şekil 3.1'de yapının yaşam döngüsü süreçleri, süreçlerin birbirleriyle ilişkileri ve çevreyle etkileşimi gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Bir yapının yaşam döngüsü [Vigon vd., 1993].

Ham maddenin çıkarılması aşaması, elde edilecek ürün ham maddesinin kaynaktan çıkarılmasıyla üretim alanına taşınması ya da bazı durumlarda kullanım için doğrudan inşaat alanına taşınması süreçlerini kapsar. Bu süreçler hem ham maddenin çıkarılması esnasında hem de taşıma esnasında harcanan enerji miktarı önemlidir. Kullanılan yolun türü, taşıma mesafesi enerji tüketimini etkilemektedir [Hozatlı, 2013].

Üretim aşaması, yapı malzemelerinin üretim sürecini kapsar. Kaynaktan alınan ham madde bu aşamada fabrikada işlemden geçirilerek paketlenir ve inşaat alanına taşınır. Bu aşamada da hem malzemenin işlenmesi ve paketlenmesi sırasında hem de taşımada enerji kullanılmaktadır [Hozatlı, 2013].

Yapım aşaması, gerekli izinleri alınan projelerin arazi üzerine inşası sürecini kapsar. Çoğunlukla temel için bir kazı işlemiyle başlanır ve çoğunlukla makineler kullanılır. Kullanılan makinelerin enerji kaynağı olan fosil yakıtlar ve diğer işlemler sırasında oluşabilecek atıklar çevreyi olumsuz etkiler [Hozatlı, 2013].

Kullanım aşaması, yapının inşasından sonra yine gerekli izinlerin alınmasıyla ve yapıya insanların yerleşmesiyle başlamış olur. Bu süreçte yapıda ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, cihazların çalıştırılması gibi eylemler yoğun bir enerji tüketimine neden olur. Bu durum yapının yaşamı boyunca devam edecektir. Bu evre sadece yapının kullanımı değil aynı zamanda yapının gerektiği dönemlerde yıpranan, zarar gören bölümlerinin yenilendiği, bakım ve onarımının yapıldığı bir evredir. Yapı ürünlerinin çevresel etkileri bakım-onarım hizmetlerine göre değişiklik gösterir. Aynı zamanda bir malzemenin yenilenmesi yani tekrardan üretilebilmesi için ham madde

çıkarılması, fabrikaya taşınması, yenilenen malzemenin üretilmesi, yapı alanına taşınması, eski malzemenin sökülmesi, yeni malzemenin montajının yapılması evrelerini içerir [Gültekin ve Çelebi, 2016; Hozath, 2013].

Yıkım aşaması, yapı ürünlerinin işlevlerinin sonuna geldiği evredir. Bu aşamada yıkım sonrasında işlevini tamamlayan yapı ürünleri atılır, bertaraf edilir, yok edilir ya da yeni bir yapıda değerlendirilmek amacıyla, yeniden kullanılmak üzere geri dönüştürülür. Bu geri dönüşüm sonucunda işlevi tamamlanan, aynı malzemede üretilebilir farklı malzeme de üretilebilir [Gültekin ve Çelebi, 2016].

Yapı yaşam döngüsü süreçlerinde yapı ürününün çevreyle dolaylı ya da doğrudan bir etkileşimi bulunmaktadır. Ham madde edinimi, üretimi, yapımı, kullanımı, yıkımı süreçlerinde girdi olarak ham madde, su, iş gücü ve enerji kullanımı; çıktı olarak katı, sıvı atıklar, atmosferik emisyonlar açığa çıkar [Taygun ve Balanlı, 2005].

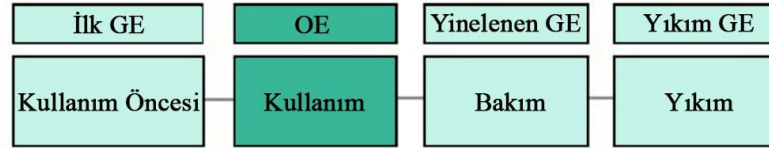
Yapılan araştırmalara göre, küresel çapta yıllık enerji tüketiminin yaklaşık yarısı, yapıların yaşam döngüsü süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu enerji çoğunlukla fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilmekte ve bu kullanım iklim değişikliği etmenlerinin başında gelen karbon emisyonlarına neden olmaktadır [Koç vd., 2022].

İnşaat sektörünün toplumda sürdürülebilir kalkınmaya ulaşması gerekmektedir. Sürdürülebilir kalkınma, düşük çevresel etkiye, yüksek ekonomik ve sosyal kazanımlara sahip kalkınma olarak görülmektedir. Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için enerji tasarrufu, su dahil malzemelerin iyileştirilmiş kullanımı, malzemelerin yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve emisyon kontrolü gibi bir dizi özelliği kapsayan çok disiplinli bir yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir. Binaların yaşam döngüsü enerji analizi, binaların birincil enerji kullanımının azaltılması ve emisyonların kontrol altına alınması için stratejiler formüle etmek büyük önem taşımaktadır [Ramesh et al., 2010].

Yapı yaşam döngüsü enerjisi, gömülü enerji ile operasyonel enerjiden oluşur **Şekil 3.2**. Yapılarda yaşam döngüsü enerjisine ilişkin çalışmalarda genellikle operasyonel enerjinin değerlendirilmesi yapıp gömülü enerji değerlendirilmesi göz ardı edilmektedir. Fakat yapılan bir çalışmada iklim faktörleri dikkate alındığında ılıman bölgelerde gömülü enerjinin toplam yaşam döngüsü enerjisine oranı yaklaşık %25 olarak belirlenmiştir. Bu oran gelecekte düşük yaşam döngüsü enerjili yapılara

ulaşmak için gömülü enerjinin göz ardı edilmemesi ve daha bütünsel bir yaklaşıma ihtiyaç duyulması gerektiğini göstermektedir [Karimpour et al., 2014].

Gömülü Enerji (GE) + Operasyonel Enerji (OE) = Yaşam Döngüsü Enerjisi



Şekil 3.2: Yapı yaşam döngüsü enerjisi [Azari and Abbasabadi, 2018].

3.1.1. Gömülü Enerji (GE)

Literatürde gömülü enerji iki şekilde tanımlanmaktadır. İlk tanımda gömülü enerji, bir yapıyı inşa etmek için tüketilen enerjidir. Diğer tanım da daha kapsamlı olup gömülü enerjinin, bir yapıyı inşa etmek, bakımını yapmak ve son olarak yıkmak için kullanılan toplam enerjidir. Bu nedenle gömülü enerji, ilk, yinelenen ve yıkım gömülü enerjilerinin toplamıdır [Yohanis and Norton, 2002].

İlk gömülü enerji, ham maddeleri çıkarmak, ürün ve bileşenleri üretmek, taşımak ve bir yapıyı inşa etmek için kullanılan toplam enerjidir. Dolayısıyla ilk gömülü enerji, yapının kullanım öncesi aşamasında kullanılan tüm enerjidir. Yinelenen gömülü enerji, yapı kullanılıyorken yapının bakımını, hasar gören malzeme ve bileşenlerin onarımı veya değiştirilmesi için kullanılan enerjidir. Yinelenen gömülü enerjiyi, yapının kullanıcılar tarafından nasıl kullanıldığı, kullanıcıların bakım talepleri, yapının hizmet ömrü, malzeme ve bileşenlerin ömrü etkilemektedir. Son olarak, yıkım gömülü enerjisi, yapının yaşam döngüsünün sonunda yıkılması, moloz ve atıkları çöplüklere veya yakma fırınlarına taşınarak atılması, bazı bileşenlerin geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması için tüketilen enerjidir. Yıkım gömülü enerjisi, veri kullanılabilirliği sorunları nedeniyle gömülü enerji içeriğinin büyük ölçüde belirsiz bir bileşenidir ve yaşam döngüsü enerji kullanımında ihmal edilebilir bir paya sahiptir [Azari and Abbasabadi, 2018].

Enerji, bir yaşam döngüsü enerji analizlerinde temel ölçüm birimi olduğundan, enerjinin biçimi açıklığa kavuşturulmalıdır. Teslim edilen enerji, ev sahibi tarafından kullanılan enerjidir. Birincil enerji, teslim edilen enerjiyi üretmek için kullanılır ve

enerjinin herhangi bir dönüşüme uğramamış şeklidir. Birincil enerji kaynakları, petrol, kömür, doğal gaz, nükleer, hidrolik, biyokütle, dalga-gelgit, güneş ve rüzgârdır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji ise ikincil enerjidir. İkincil enerji kaynakları, elektrik, benzin, mazot, motorin, LPG'dir. Literatürde, yapı yaşam döngüsü enerji değerlendirmelerin birincil enerji biçiminde olması gerektiği önerilmektedir [Fay et al., 2000; E. Koç ve Kaya, 2015].

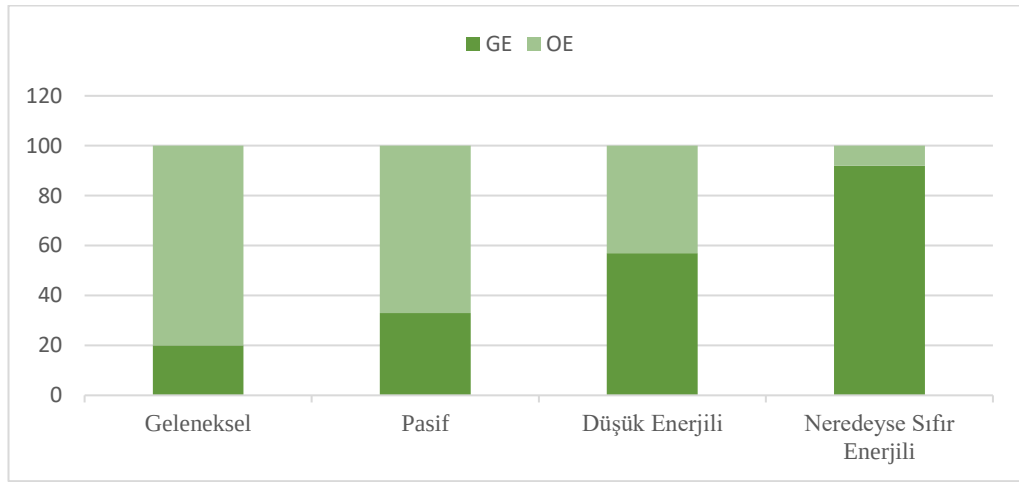
3.1.2. Operasyonel Enerji (OE)

Yapıların konfor koşullarını ve günlük bakımını sürdürmek için gereken enerjidir. Isıtma, soğutma, havalandırma, klima, evsel sıcak su, aydınlatma ve çalışan cihazlar için gereken enerjidir. Operasyonel enerji büyük ölçüde gereken konfor seviyesine, iklim koşullarına ve işletme programlarına göre değişir. Yapıların operasyonel enerjisi yaşam döngüsü enerjisinde en büyük paya sahip olduğundan bunu azaltmak yapıyı yaşamı boyunca daha az enerji talep eder hale getirir. İklimsel ve diğer farklılıklara rağmen operasyonel enerji ile yapıların yaşam döngüsü enerjisi arasındaki ilişkinin neredeyse doğrusal olduğu görülebilir [Ramesh et al., 2010].

Yaşam döngüsü enerji tasarruflarının, yapıda kullanılan pasif ve aktif enerji tasarrufu önlemlerinin derecesi ve sayısı ile orantılı olarak operasyonel enerjide azalma meydana gelmektedir. Bu, pasif ve aktif enerji tasarrufu önlemlerinin kullanımı artırılarak düşük enerjili binalar üretmek amacıyla yapının işletmesi için enerji kullanımının azaltılmasına devam edilebileceğini ve bir aşamada operasyonel enerjisinin sıfırlanabileceğini ve böylece sıfır enerjili yapılar (kendi kendine yeterli) üretilebileceğini göstermektedir. Sıfır enerjili bir yapının çalışması için ne yakıt ne de elektrik gerekir; çünkü ihtiyaç duyduğu tüm enerji yerel olarak üretilir (güneş ve rüzgâr kaynakları kullanılarak) ve depolanır. Pasif ve aktif teknolojilerin kullanımı gömülü enerjide hafif bir artışa yol açsa bile, bir yapının yaşam döngüsü operasyonel enerji talebi azaltılabilir. Ancak, bir yapıda pasif ve aktif özelliklerin aşırı kullanımı ters etki yaratabilir [Ramesh et al., 2010].

Yaşam döngüsü enerji analizi yapılan 90 konut yapısına ilişkin vaka çalışmaları bir çalışmada incelenmiş ve geçmişte, operasyonel enerjinin konut yapılarının yaşam döngüsü enerji analizinde baskın olduğu görülmüştür. Ancak enerji verimliliği düzenlemeleri sıfır enerjili yapılara uyum sağladıkça, konut yapılarının yaşam

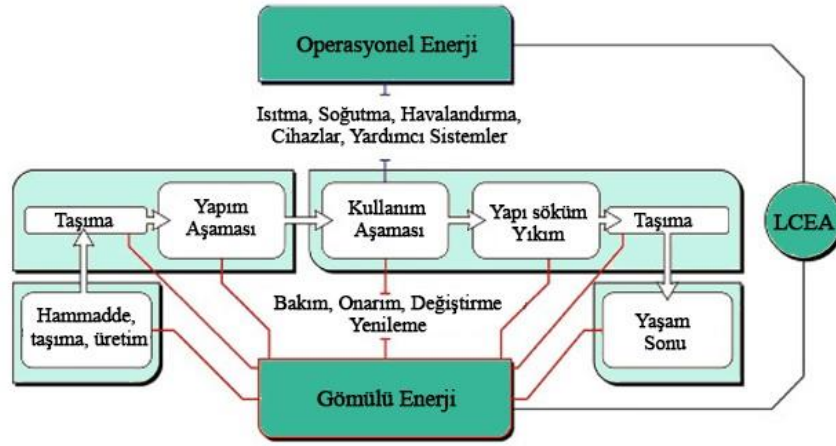
döngüsü enerji analizlerinde gömülü enerji baskın bir rolle öne çıkmaktadır. Araştırmada incelenen yaşam döngüsü enerji analizi vaka çalışmalarında, gelenekselden pasif, düşük enerjili ve neredeyse sıfır enerjili bir yapıya geçişte, toplam yaşam döngüsü enerjisinde %50'ye kadar bir azalma tespit edilmesine rağmen, gömülü enerji payının arttığı görülmektedir. Gömülü enerji payı, esas olarak geleneksel, pasif, düşük enerjili ve neredeyse sıfır enerjili binalarda sırasıyla %6-%20, %11-%33, %26-%57 ve %74-%100 olarak tespit edilmiştir **Şekil 3.3 [Chastas et al., 2016]**.



Şekil 3.3: Konut binalarının yaşam döngüsü enerjisi kullanımında OE ve GE oranları.

3.1.3. Yaşam Döngüsü Enerji Analizi (YDEA/LCEA)

Yaşam döngüsü enerji analizi, bir yapının toplam yaşam döngüsü boyunca kaynak girdisi olarak enerji kullanımını değerlendirmektir. Bir binanın yaşam döngüsü enerjisi, gömülü enerji ve operasyonel enerjiyi içerir. Yaşam döngüsü enerji analizinin avantajlarından biri, yüksek enerji talebi aşamalarının belirlenecek olmasıdır. Bu nedenle, bu aşamalar için enerji tüketimini azaltarak süreç iyileştirilebilir. Sonuç olarak, sera gazı emisyonları da azaltılabilir **[Karimpour et al., 2014]**. **Şekil 3.4**'te yapı yaşam döngüsü enerji analizinde sistemin akışı şematik olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.4: Yaşam Döngüsü Enerji Analizinde sistemin akışı [Chastas et al., 2016].

3.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD/LCA)

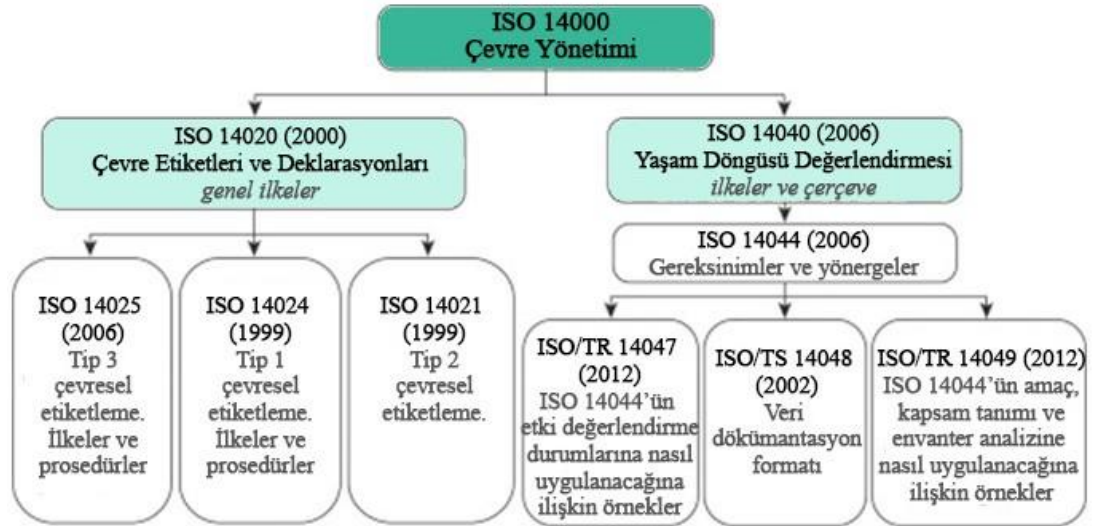
Metodolojisi

Yaşam döngüsü değerlendirme (LCA), kullanılan bir malzemenin, enerji akışlarının ve ürünlerin çevresel etkilerinin nicel değerlendirme için kullanılan bir araçtır. Her bir malzemenin ve sürecin etkisini sistematik olarak değerlendirmek için kullanılır. LCA, bir ürünün geliştirilmesiyle ilişkili çeşitli yönleri ve ham madde ediniminden, işlenmesinden, imalatından, kullanımından ve son olarak bertarafından ürünün ömrü boyunca potansiyel etkisini değerlendirmek için kullanılan bir tekniktir [ISO 14040, 2006].

LCA kavramının tarihçesine baktığımız zaman ürünlerin ve malzemelerin yaşam döngüsü yönlerini inceleyen ilk çalışmalar 1960'lı yılların sonunda yapılmış ve çalışmalarda enerji verimliliği, hammadde tüketimi ve bir dereceye kadar atık bertarafı gibi konulara odaklanılmıştır. 1969 yılında Coca-Cola'nın içecek şişesi seçimi üzerine kaynak tüketimi ve çevresel salınımları karşılaştırmak için çalışmalar yapılmıştır. 1980'lerin sonuna kadar yaygın olarak kullanılmamıştır [Jensen et al., 1997]. LCA kavramı, Çevre Toksikolojisi ve Kimyası Derneği (SETAC) tarafından 1990'da önerilmiş ve ardından 1993'te Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından ISO 14000 Çevre Yönetim Standartlarına dahil edilmiştir [ISO 14040, 2006].

LCA süreci, sistemsel girdiler ve çıktılarla ilgili ürün karşılaştırması ve stratejik karar almanın yanı sıra yaşam sonu tasarım stratejilerinin geliştirilmesi ve dahil edilmesine

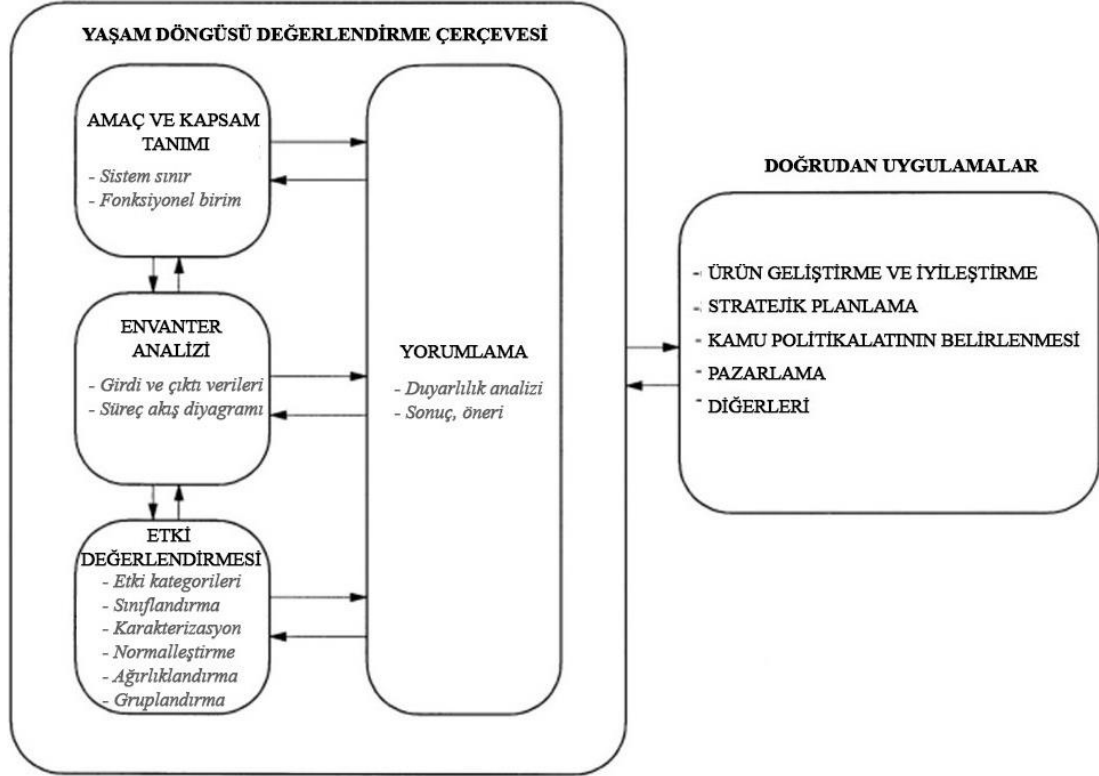
olarak tanır. LCA'ları yürütmek için sistematik bir çerçeve, ISO tarafından 1997-2000 döneminde yayınlanmış ve ISO 14040, 14041, 14042 ve 14043 standartlarıyla sonuçlanmıştır. Bu standartlardaki güncellemeler 2006 yılında tamamlanmış ve böylece önceki standartlar ISO 14040 ve 14044 ile birleştirilmiştir [Pryshlakivsky and Searcy, 2013]. Şekil 3.5'te çevre sertifikasyonuna ilişkin düzenleyici çerçeve şematik olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.5: Çevre sertifikasyonuna ilişkin düzenleyici çerçeve [Bovea et al., 2014].

ISO 14040'da belirtildiği gibi, LCA çerçevesi dört aşamadan oluşur: 1. Amaç ve kapsamın tanımı, 2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (LCI), 3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (LCIA) ve 4. Yorumlama Şekil 3.6.

Amaç ve kapsam tanımı, envanter verileri için işlevsel birimi, sistem sınırlarını ve kalite kriterlerini belirler. Yaşam döngüsü envanter analizi, ürünün yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında girdi ve çıktıların derlenmesi, nitelendirilmesi ve sentezlenmesiyle ilgilenir. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesinde, envanterden elde edilen sonuçlar olası çevresel etkiler açısından değerlendirilir, etki kategorileri ve kategori göstergeler her bir bileşenin katkısını hesaplamak için kullanılır. Son olarak, yaşam döngüsü yorumlaması hem yaşam döngüsü envanter analizinden hem de yaşam döngüsü etki değerlendirmesinden elde edilen sonuçların yorumlanmasıyla ilgilenir. Önemli sorunların tanımlanmasını ve sonuçların değerlendirilmesini içerir [Sharma et al., 2011].



Şekil 3.6: LCA safhaları [ISO 14040, 2006].

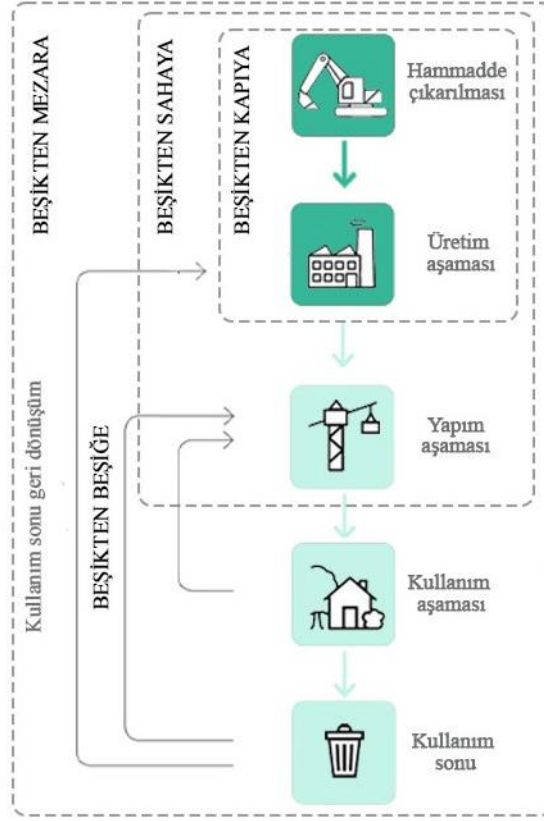
3.2.1. Amaç ve Kapsam Tanımı

Öncelikle bir LCA çalışmasında açıkça şu başlıklar belirtmelidir; amaçlanan uygulama, çalışmanın yürütülmesinin sebepleri, çalışma sonuçlarının ulaştırılması istenen kitle ve sonuçların, kamuoyuna açıklanacak karşılaştırmalı beyanlarda kullanılmasının amaçlanıp amaçlanmadığı. LCA çalışmasında amaç tanımının yapılması önemlidir. Çünkü çalışmanın sonraki aşamalarında izlenecek yolu tanımlar ve şekillendirir. Kapsam tanımında ise şu başlıklar belirtmelidir; çalışılacak ürün sistemi, fonksiyonel birim, sistem sınırı, ürün sisteminin fonksiyonları veya karşılaştırmalı çalışmalar durumunda sistemler, seçilen etki kategorileri. LCA, tekrarlı bir metodoloji olup, veri ve bilgi toplanması gerektiğinden dolayı, kapsamın değişik boyutları için, çalışmanın başlangıç amacını karşılamak üzere değiştirme gerekebilir [ISO 14040, 2006].

Bu aşamada fonksiyonel birim kavramı da önemlidir. Fonksiyonel birim, değerlendirmedeki diğer tüm verilerin normalleştirildiği referansı sağlar. Karşılaştırmalı bir çalışmada, fonksiyonel birim karşılaştırılan tüm ürün sistemleri için

aynı olmalıdır. Bu, ürün sistemleri arasında eşdeğerliği sağlamak için bir ön koşuldur **[Weidema et al., 2004]**. Fonksiyonların, bir çalışmanın amacı ve kapsamı açısından uygun şekilde tanımlanmaması, belirtilmemesi, ayrıştırılmaması veya önceliklendirilmemesi gerçeği iyi yansıtmayan bir fonksiyonel birim ortaya çıkarabilir **[Reap et al., 2008]**.

LCA çalışmalarında amaç ve kapsam tanımı aşamasında diğer önemli bir konu sistem sınırlarını belirlemektir. Sistem sınırları, LCA'ya hangi süreçlerin dahil edilmesi gerektiğini belirler ve çalışmanın amacıyla tutarlı olmalıdır. Diğer ürünlere benzer şekilde, yapıların LCA sistem sınırları beşikten kapıya (cradle to gate), beşikten sahaya (cradle to site), beşikten mezara (cradle to grave) ve beşikten beşiğe (cradle to cradle) olarak adlandırılır. Beşikten kapıya yaklaşımı, ham madde çıkarımından üretim yani fabrika kapısına kadar olan süreci; beşikten sahaya, ham madde çıkarımından ürünün inşaat sahasına teslim edilme sürecini; beşikten mezara, ham madde çıkarımından kullanım sonu sürecini; beşikten beşiğe ise ham madde çıkarımından yapının yıkılmasıyla malzemenin yeniden kullanımı sürecini kapsar **[Abd Rashid and Yusoff, 2015]**. **Şekil 3.7'**de yapıların LCA çalışmalarında kullanılan sistem sınırları gösterilmiştir.



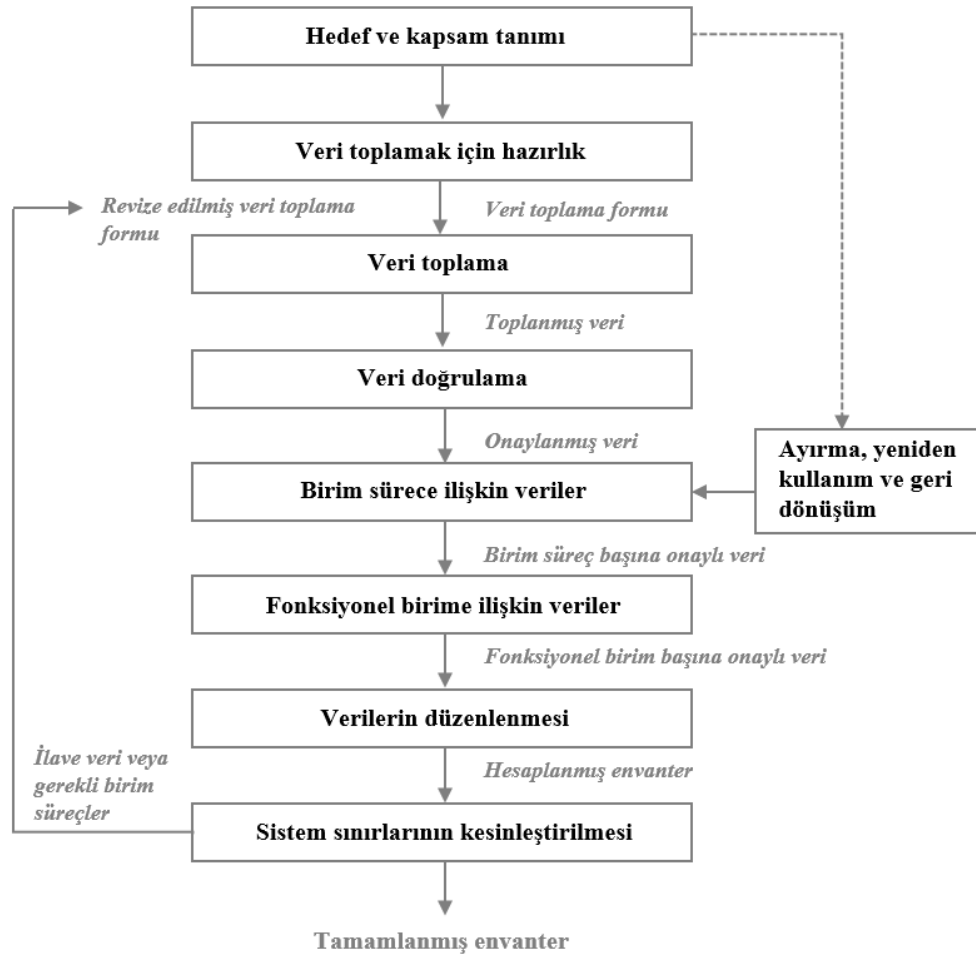
Şekil 3.7: Yapıların LCA çalışmalarında kullanılan sistem sınırları [Simonen, 2014].

3.2.2. Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE/LCI)

Envanter analizi, bir ürün sisteminin ilgili girdilerini ve çıktılarını hesaplamak için veri toplanmasını ve hesaplama prosedürlerini içerir. Sistem sınırı içerisindeki her bir birim süreç için veriler; enerji girdileri, ham madde girdileri, diğer fiziksel girdiler, ürünler, atmosferik emisyonlar, sıvı ve katı atıklardır [ISO 14040, 2006].

Yaşam döngüsü envanter analizleri çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Ürünlerin karşılaştırılması ve malzeme seçiminde çevresel faktörlerin dikkate alınması buna örnek olarak verilebilir. Hükümetlere çevresel emisyonlar ve kaynak kullanımı konularında mevzuat geliştirilmesi ve politika belirlenmesi için kullanılabilir [Demirer, 2024].

Bir LCA'nın yaşam döngüsü envanter aşamasını yürütmek için amaç ve kapsamın tanımı ilk planı sağlar. Yaşam döngüsü envanter analizi çalışması yürütürken, Şekil 3.8'de özetlenen operasyonel adımlar gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.8: Envanter analizi için basitleştirilmiş aşamalar [ISO 14044, 2006].

Örnek bir envanter analiz sonucu **Şekil 3.9**'da kullanılan enerji ve malzemeler ile çevreye salınan emisyonların tür ve değerleri bir liste olarak gösterilmektedir.

YDE analizi sonuçları		Birim	1 kg EPS için sonuçlar
Enerji	Doğalgaz	MJ	39.30
	Elektrik (fosil) (kaynaklı)	MJ	0.845
	Petrol	MJ	61.10
	Kömür	MJ	5.01
Kaynak tüketimi	Boksit	g	1.21
	Kil mineralleri	g	4.18
	Demir (cevher)	g	0.946
	Kireçtaşı	g	2.31
	Su	kg	30.60

Şekil 3.9: Örnek bir envanter analizi [Karaman Öztaş & Tanaçan, 2017].

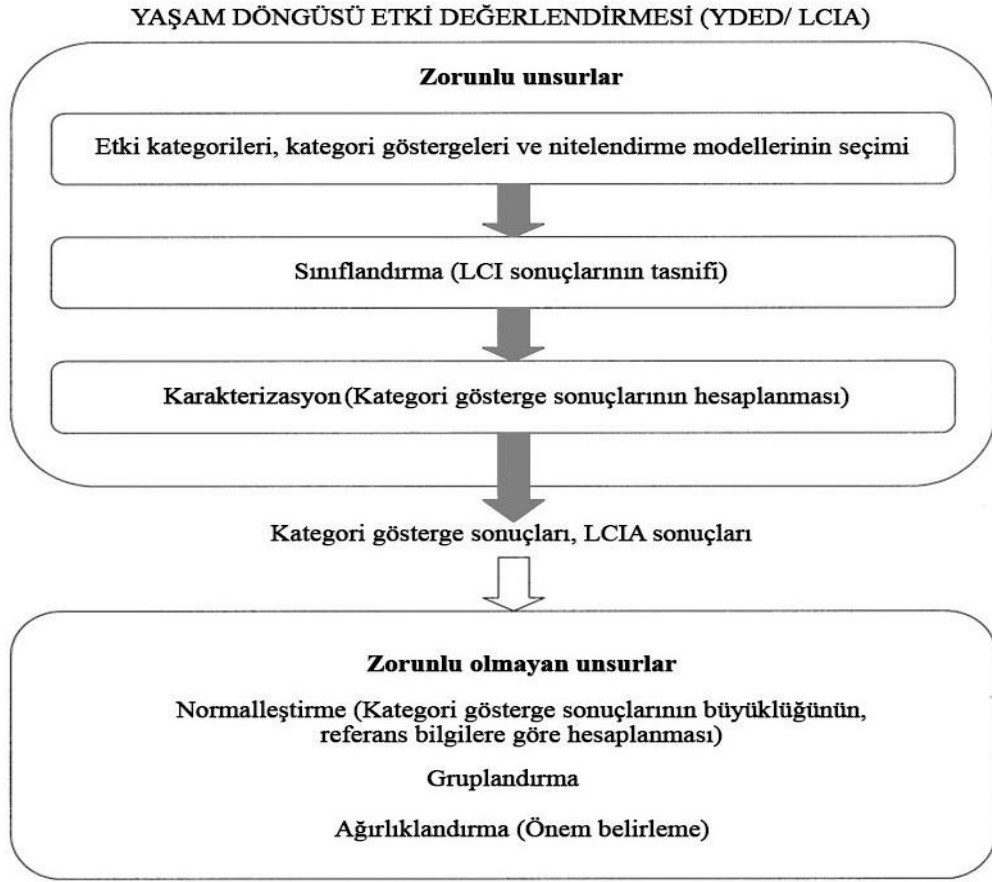
Havaya salımlar	CO ₂	g	3590
	CO	g	9.68
	C _x H _y	g	20.60
	HCl	g	0.07
	Toz	g	3.61
	Ağır metaller	g	0.09
	HF	g	0.002
	NO _x	g	18.70
	SO _x	g	20.90
	Çözünmüş organikler	g	0.055
	Çözünmüş katı maddeler	g	0.176
	Metalik ivonlar	g	0.385
	Na	g	0.693
	NH ₄	g	0.015
	Sülfat	g	0.132
	Katı maddeler	g	1.31
Atık	Kimyasal atık	g	10.03
	Endüstriyel atık	g	3.52
	Cüruf/ kül	g	9.24
	Mineral atık	g	48.30

Şekil 3.9 devamı: Örnek bir envanter analizi [Karaman Öztaş & Tanaçan, 2017].

3.2.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED/LCIA)

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi aşamasında, LCI aşamasında tanımlanan olası çevresel emisyonların çevresel etkileri değerlendirilir. Etki değerlendirmesi ürün ile çevresel etkileri arasında bir bağlantı kurar. Örneğin, atmosfere salınan 1000 ton nitroz oksit veya 3000 ton karbondioksit emisyonlarının etkilerinin neler olduğu ya da hangisinin etkisinin daha fazla olduğu, çevre sorunları etkilerinin yerelde mi küreselde mi olduğu gibi konulara etki değerlendirmesiyle cevap alınabilir. Etki değerlendirmesi çevresel etkilerin sınıflandırılması ve kategorize edilmesi için sistematik bir prosedür sunar. LCI aşamasında elde edilen envanterin birçok bilgi sağladığı görülür. Ancak seçenekler arasında karşılaştırma yapabilmek için etki değerlendirmesi gereklidir. Örneğin atmosfere salınan 1000 ton nitroz oksit ve 3000 ton karbondioksitin her ikisi de zararlıdır. Fakat hangisinin daha büyük bir çevresel etkiye sahip olduğu etki değerlendirmesi ile belirlenebilir. Bu değerlendirmede farklı çevresel emisyonlara sahip ve dolayısıyla farklı çevre sorunlarına etki edecek durumlar bilimsel karakterizasyon çalışmasıyla karşılaştırılmaktadır [Demirer, 2024].

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi evreleri Şekil 3.10'da şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.10: Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi evreleri [ISO 14040, 2006].

LCIA'daki ilk adım, genel LCA'nın bir parçası olarak değerlendirilecek etki kategorilerini seçmektir. LCI'da tanımlanan öğelerin potansiyel insan sağlığı ve çevre etkileri vardır. Örneğin, LCI'da tanımlanan bir çevresel salınım, kansere veya kısırlığa neden olarak insan sağlığına zarar verebilir. Aynı şekilde, LCI'da tanımlanan bir salınım, asit yağmuruna veya küresel ısınmaya neden olarak çevreyi de etkileyebilir. Kategori göstergeleri ise etki kategorilerinin sonuçlarını ifade etmektedir [Curran, 2006; ISO 14040, 2006].

Sınıflandırmanın amacı ise LCI sonuçlarını etki kategorilerine göre düzenlemek ve birleştirmektir. Sadece bir etki kategorisine katkıda bulunan LCI öğeleri için prosedür basit bir atamadır. Örneğin, karbondioksit emisyonları küresel ısınma kategorisinde sınıflandırılabilir. İki veya daha fazla farklı etki kategorisine katkıda bulunan LCI öğeleri ise etki ettiği tüm kategorilere atanır. Örneğin, azot dioksit potansiyel olarak

hem yer seviyesi ozon oluşumunu hem de asitleşmeyi etkileyebileceğinden, azot dioksitin tüm miktarı her iki etki kategorisine de atanır **[Curran, 2006]**.

Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi unsurlarından karakterizasyon (gösterge sonuçlarının hesaplanması) ise LCI sonuçlarının ortak birimlere dönüştürülmesini ve dönüştürülen sonuçların aynı etki kategorisi içinde toplanmasını içerir. Bu dönüştürme, karakterizasyon faktörlerini kullanır. Hesaplamanın çıktısı sayısal bir gösterge sonucudur **[ISO 14044, 2006]**.

Normalizasyon, bir LCA çalışmasında zorunlu olmamakla birlikte etki göstergesi verilerini etki kategorileri arasında karşılaştırılabilecek şekilde ifade etmek için kullanılan bir LCIA aracıdır. Bu prosedürde, gösterge sonuçları seçili bir referans değerine bölünerek normalize edilir. Normalleştirilmiş veriler yalnızca bir etki kategorisi içinde karşılaştırılabilir. Örneğin, karakterizasyon faktörleri farklı bilimsel yöntemler kullanılarak hesaplandığından su toksisitesinin etkileri doğrudan asitlenmenin etkileriyle karşılaştırılmaz **[Curran, 2006]**.

LCIA'nın ağırlıklandırma (önem belirleme) adımı, farklı etki kategorilerine algılanan önem veya alakalarına göre göreceli değerler veya ağırlıklar atar. Bu önem dereceleri ülkelere göre farklılık gösterebilir. Örneğin A ülkesinin diğer etki kategorilerine göre enerji kullanımı daha önemliyken B ülkesinin su tüketimi konusu daha önemli olabilir. Elde edilen veriler önem derecelerine göre belirlenen katsayılarla çarpılarak ağırlıklandırma sonuçlandırılır. Bu aşama bilimsel bir süreç olmadığından, ağırlıklandırma metodolojisinin açık bir şekilde belirtilmesi ve belgelenmesi önemlidir **[Curran, 2006]**.

Gruplandırma yine zorunlu olmayan bir adımdır. Etki kategorilerinin bir veya daha fazla kümeye atanmasıdır. Sıralama veya derecelendirme içerebilir. Gruplandırma, farklı şekillerde gerçekleştirilebilir. Örneğin,

- Yüksek, orta ve düşük öncelikli
- Girdiler ve çıktılar olarak ya da
- Küresel, bölgesel ve yerel yani mekânsal ölçek özelliklerine göre.

Farklı bireyler, toplumlar ve kuruluşlar farklı önceliklere sahip olabilir. Bu nedenle aynı gösterge sonuçlarına dayanarak toplumların farklı sıralama sonuçlarına ulaşması olağandır **[ISO 14044, 2006]**.

LCA çalışmalarında sıklıkla kullanılan çevresel etki kategorileri **Tablo 3.1**'de yer almaktadır.

Tablo 3.1: LCA çalışmalarında sıklıkla kullanılan çevresel etki kategorileri [Karaman Öztaş, 2014; Resalati et al., 2021].

Çevresel etki kategorileri	Kategori göstergesi	Kategori göstergesi referans salımı	Etki kategorileri hakkında bilgi
Küresel Isınma	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	Karbon dioksit (CO ₂)	Küresel ısınma, insan faaliyetleri sonucunda CO ₂ gibi sera gazlarının yayılmasından dolayı sera etkisinin neden olduğu küresel sıcaklıktaki değişimdir.
Ozon Tabakasının İncelmesi	Ozon Tabakası İncelmesi Potansiyeli (ODP)	Kloroflorokarbon (CFC11)	Klorlu ve bromlu kimyasallar nedeniyle ozon tabakası hasar alıp incelmekte ve bunun sonucunda zararlı ultraviyole ışınların yeryüzüne düşme miktarı artmaktadır.
Asitleşme	Asitleşme Potansiyeli (AP)	Kükürt dioksit (SO ₂)	Yakıtın yanmasıyla yayılan SO ₂ ve NO _x gibi asidik gazlar toprak içinde ya da atmosferde su ile reaksiyona girmektedir. Bunun sonucunda asit depolanması ile ekosistem hasar görür.
Ötrifikasyon	Ötrifikasyon Potansiyeli (EP)	Fosfat (PO ₄)	Fosfatlar ve nitratlar yaşam için gereklidir. Fakat su içinde artan konsantrasyonları alglerin aşırı büyümelerini neden olur. Bu durum su içindeki oksijeni azaltıp ekosisteme zarar verir.
Fotokimyasal Oksit Oluşumu	Fotokimyasal Oksidasyon Oluşma Potansiyeli (POCP)	Eten (C ₂ H ₄)	Fotokimyasal sis oluşumu toz, hidrokarbon uçucu organik bileşenler ve azot oksitlerin gün ışığında salımıyla yeryüzünde sis oluşmasıdır. Bu salımların oluşumundaki ana neden fosil yakıtların yanmasıdır.
Toplam Birincil Enerji Kullanımı	Yenilenemeyen Birincil Enerji Kullanımı (PENRT) Yenilenebilir Birincil Enerji Kullanımı (PERT)	MJ	Yenilenebilir ve yenilenemez birincil enerji kaynakların toplam kullanımını ifade eder.
Abiyotik Kaynakların Tüketimi	Abiyotik Tüketim Potansiyeli (ADP)	Sb, MJ	Mineral kaynak tüketimi, etki kategori göstergesi işlenmemiş abiyotik malzemelerin çıkarılması (maden cevherinin, agregaların, minerallerin vb.) ile ilişkilidir. Fosil yakıt tüketimi, tüketilen fosil yakıt enerjisinin toplam miktarını yansıtmaktadır.

Tablo 3.1 Devamı: LCA çalışmalarında sıklıkla kullanılan çevresel etki kategorileri [Karaman Öztaş, 2014; Resalati et al., 2021].

Su Tüketimi	Su Kaynaklarının Tüketimi (WRD)	Metreküp (m3)	Su tüketimi, nehir sularının kirliliği ya da dağılımı ve tatlı suların tüketim, dağılım ya da kirliliği değerlendirilmektedir.
Arazi Kullanımı	Arazi Durumu	m2 x yıl	Arazi kullanımının kategori göstergesi arazi işgali ve dönüşümü nedeniyle ekosistemdeki hasar olarak tanımlanmaktadır.

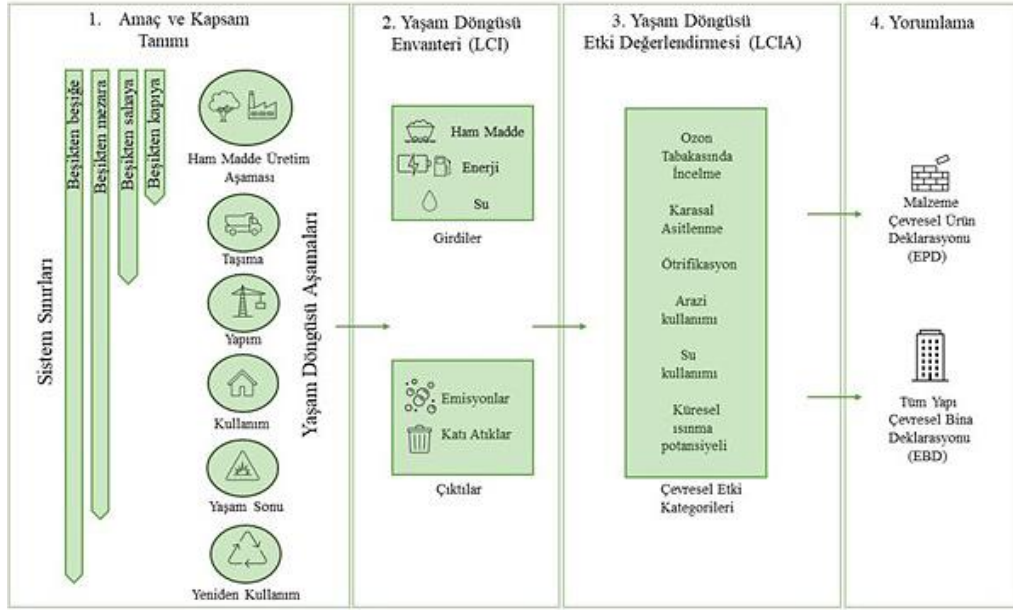
3.2.4. Yaşam Döngüsü Yorumlama

Bir LCA çalışmasının yaşam döngüsü yorumlama aşaması, birkaç ögeden oluşur:

- LCA'nın LCI ve LCIA'nın sonuçlarına göre önemli sorunların belirlenmesi,
- Eksiksizlik, duyarlılık ve tutarlılık kontrollerini dikkate alan bir değerlendirme,
- Sonuçlar, sınırlamalar ve öneriler.

Eksiksizlik kontrolüyle yorumlama için gereken tüm ilgili bilgi ve verilerin eksiksiz olduğundan emin olunur. Önemli konuları belirlemek için gerekli olan herhangi bir bilgi eksikse önceki aşamalar (LCI, LCIA) yeniden gözden geçirilir. Duyarlılık kontrolündeki amaç ise verilerdeki belirsizliklerden, tahsis yöntemlerinden veya kategori göstergesi sonuçlarının hesaplanmasından nasıl etkilendiklerini belirleyerek nihai sonuçların güvenilirliğini değerlendirmektedir. Tutarlılık kontrolünde de verilerin, yöntemlerin ve varsayımların hedef ve kapsamla tutarlı olup olmadığı belirlenmektedir [ISO 14044, 2006].

Şekil 3.11'de LCA metodolojisinin tüm adımları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.11: LCA metodolojisi [Soust-Verdaguer et al., 2017, akt. Duru ve Koç, 2021].

3.3. Çevresel Ürün Beyanı (EPD)

İnşaat ürünleri üreticileri, kullanıcıları, tasarımcıları, yapı sahipleri, inşaat ve yapı sektöründe faaliyet gösteren diğer kişiler, yapıların ve diğer inşaat işlerinin çevresel etkileriyle ilgili kararlar almalarını sağlayacak bilgiler talep etmektedir. Bunun çözümü, çevresel ürün beyanları (EPD) oluşturmaktır. Bunlar, LCA kullanarak önceden belirlenmiş göstergeler ile niceliksel çevresel veriler sağlayan ve üçüncü kişiler tarafından doğrulanmasıyla oluşturulan ISO Tip III çevresel beyanlarıdır [EN 15804, 2012].

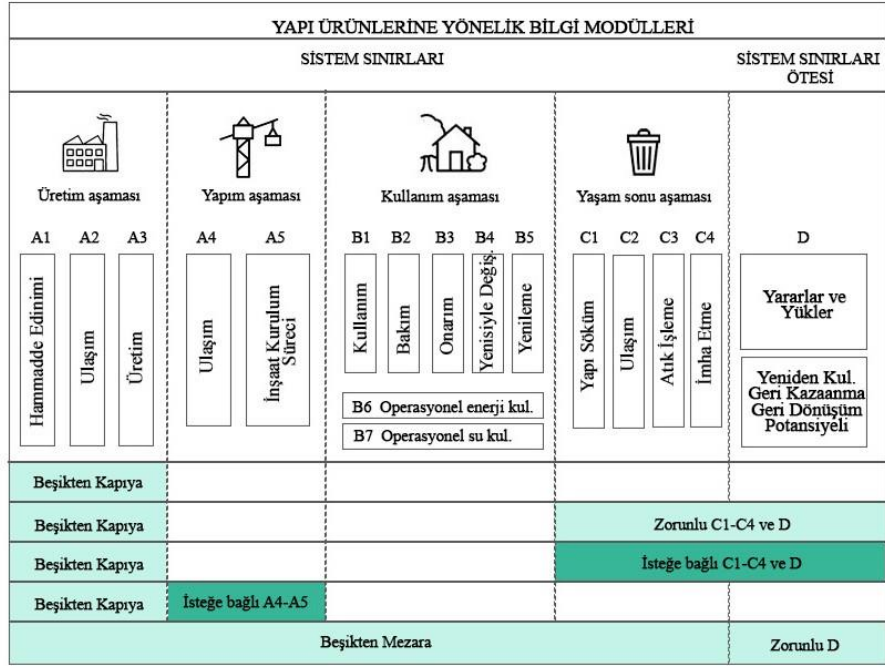
EPD'ler, gıda paketlerinin arkasındaki besin bilgilerine benzerdir. EPD, bir ürünün ömrü boyunca neden olduğu çevresel etkileri niceliksel ifadeyle sunar. Avrupa'da, inşaat ürünleri için EPD, EN 15804 gerekliliklerine göre üretilir. 2012 yılında Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından yayınlanan EN 15804, hem ürün düzeyinde hem de yapı düzeyinde inşaat işlerinin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi için oluşturulmuş standartlar paketlerin bir parçasıdır [EN 15804, 2012].

EPD oluşturmak için üreticilerin yapması gereken aşamalar:

- Veri toplama: LCA'nın istenilen aşama ve etki kategorilerine bağlı olarak toplanması gereken verileri belirlemek ve toplamak,
- LCA metodolojisi kullanma,
- EPD için arka plan raporu (LCA raporu) hazırlama,
- Üçüncü taraf doğrulaması: Her EPD'nin yayınlanabilmesi için bağımsız bir üçüncü taraf doğrulayıcı tarafından doğrulanması gerekir. Bu aşama doğruluğu, güvenilirliği garanti eder,
- Yayınlama: EPD bağımsız bir üçüncü tarafça doğrulandıktan sonra, yayın yoluyla kamuya açık hale getirilmeye hazırdır **[Web 20, 2024]**.

Bir ürünün farklı yaşam döngüsü aşamalarını kapsayan çeşitli EPD tipleri vardır:

- Beşikten kapıya EPD, A1 ile A3 (ham madde tedariki, nakliye, ürünlerin imalatı süreçleri) ürün aşaması bilgilerini kapsar. Bu süreçler, EPD'ye dahil edilmesi gereken asgari süreçlerdir. Yani beyannamelerde olması şart olan aşamalardır.
- Beşikten kapıya seçenekleri, beşikten kapıya süreçleriyle birlikte ürün aşaması bilgilerinden en azından ya kullanım aşaması ya da kullanım ömrü sonu aşamasından (B1'den C4'e) gelen diğer bilgi modüllerini kapsar.
- Beşikten mezara EPD, bir ürünün tüm yaşam döngüsü aşamalarını kapsar. Özellikle bakım ve kullanım ömrü sonunu kapsar **Şekil 3.12**.

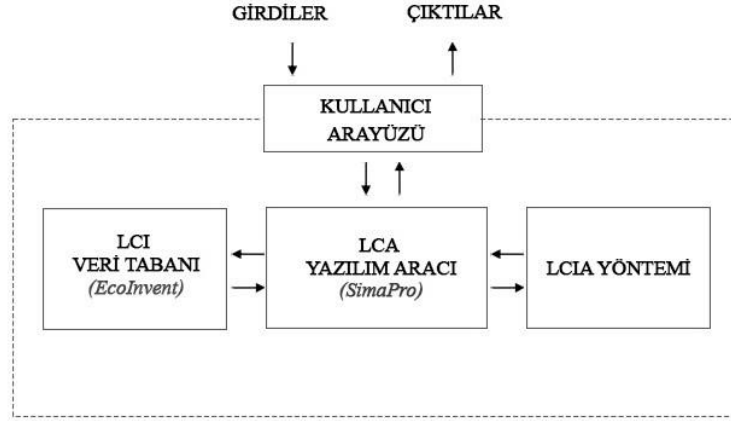


Şekil 3.12: EPD tiplerinin yapı değerlendirme bilgi modülleri kapsamıyla gösterimi [EN 15804, 2012].

LCA'lardan üretilen EPD'ler, farklı malzeme ve ürünlerin çevresel etkilerinin karşılaştırılmasını sağlayarak karbon emisyonu ve fosil yakıt tüketimi azaltma hedeflerini destekler ve yapılar için en sürdürülebilir seçeneğin seçilmesine yardımcı olur. Mimarlar, mühendisler ve tasarımcılar proje süreçlerinde en sürdürülebilir seçeneği seçebilir. Üreticiler ürünlerinin etkisini iyi yönde geliştirip optimize edebilir [Web 20, 2024].

3.4. LCA Yazılım Araçları ve Veri Tabanları

LCA, çok sayıda veri ve varsayımın işlenmesini gerektirdiği için zaman alıcı ve karmaşıktır. Bu karmaşa ve süre konusundaki sıkıntıları azaltmaya yönelik LCA yazılım araçları, veri tabanları ve değerlendirme sistemleri geliştirilmektedir. Bu araçlar ürün ve yapı ölçeğinde değerlendirmeler yapmaktadır. Bu araçlar dışında çevresel etki değerlendirmeleri yapan BREEAM, LEED gibi yeşil bina sertifikasyon sistemleri de vardır [Sayın, 2020]. Şekil 3.13'te LCA yazılım araçlarının çalışma yapısına baktığımızda öncelikle yapılan LCA çalışmalarındaki girdi verileri yazılım aracındaki veri tabanı ve LCIA yöntemleriyle birlikte değerlendirilir ve elde edilen veriler çıktı olarak kullanıcı arayüzünde gösterilir.



Şekil 3.13: Bir LCA yazılım aracının çalışma yapısı [Bayer et al., 2010, akt. Koşan and Beyhan, 2024].

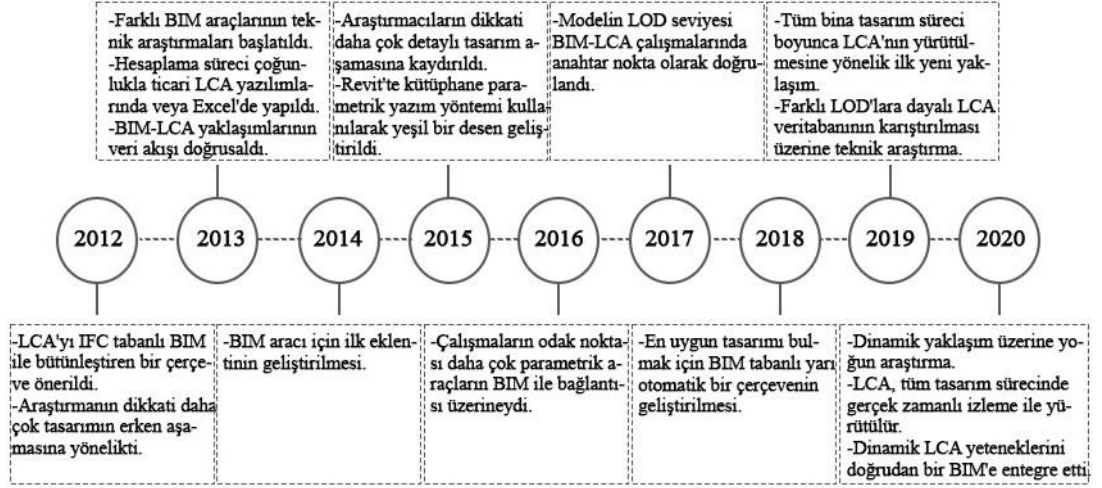
LCA'yı gerçekleştirmek için farklı yazılım araçları mevcuttur. Bu LCA yazılım araçlarından bazıları şunlardır: SimaPro, Gabi, Umberto, Athena ve openLCA. SimaPro, Gabi, Umberto ve openLCA'nın uygulaması ürün düzeyindedir. Athena ise bina bileşeni düzeyindedir. En sık kullanılan veri tabanları ise EcoInvent, Gabi, ICE, U.S. LCI ve Athena'dır. Pek çok ülkede yapı ürünlerine ait çevresel bilgilerin hala eksik olmasından dolayı, GaBi ve EcoInvent gibi geniş kapsamlı veri tabanları farklı çevresel sorunlara sahip ülkelerde de sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat, her ülkenin çevresel sorunları farklıdır. Bundan ötürü her ülkenin kendi veri tabanını geliştirme ihtiyacı vardır [Koşan and Beyhan, 2024].

4. GÖMÜLÜ ENERJİ HESAPLAMALARINDA BIM-LCA/LCEA ENTEGRASYONU VE ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Bu bölümde gömülü enerji hesaplamalarında kullanılan LCA metodolojisi ve BIM teknolojisinin entegrasyon süreçleri, BIM-LCA yaklaşımları ve BIM tabanlı LCA araçları detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Daha sonra bu araçların (Tally, One Click LCA, eToolLCD, SURAP) değerlendirilmesine yönelik örnek bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma için bir depo projesi oluşturulmuştur. Oluşturulan depo projesinin gömülü enerji hesaplamaları hem manuel olarak hem de BIM tabanlı araçlar kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda kullanım süreçleri ve elde edilen sonuçlar baz alınarak araçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

4.1. BIM-LCA/LCEA Entegrasyonu

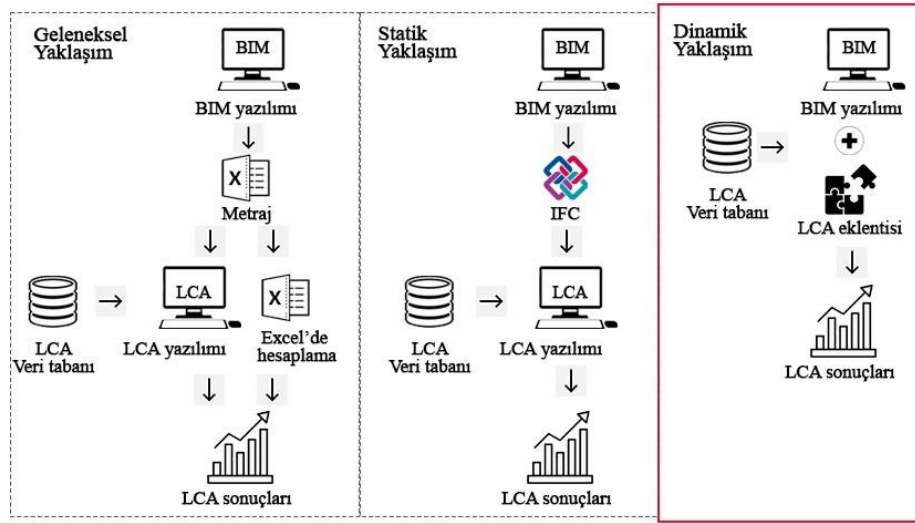
Yapılan çalışmalarda yapıların somut çevresel etki değerlendirmelerinin BIM uygulamalarıyla kolaylaştırılabileceği genel olarak kabul edilmiştir. Son yıllarda çeşitli yaklaşımlar geliştirilerek LCA araçlarını BIM yazılımlarına entegre etmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır [Tam et al., 2023]. Tasarım süreci boyunca yapıların yaşam döngüsü performansını en iyi hale getirmek ve BIM-LCA uygulamalarını ilerletmek için önemli çalışmalar gözlemlenmiştir. Bu çalışmalardaki ana odak, tasarımın erken aşamalarında bir LCA çalışmasından başlayıp, ayrıntılı tasarımlara dayalı olarak LCA sonuçlarını değerlendirmeye doğru kademeli olarak kaymıştır. Çalışmalardaki amaç zamanın ve manuel değerlendirmelerin en aza indiği bir LCA süreci sağlamaktır. Özellikle 2016'dan bu yana bu çabalar giderek artmıştır. Bu süreçte birçok araştırma çalışması, dinamik bir LCA gerçekleştirmek ve tasarım süreçlerini en iyi hale getirmek için BIM'in potansiyelini kullanmıştır. **Şekil 4.1**'de BIM-LCA entegrasyonundaki ilerleme ve gelişmeler yıllara göre kısaca özetlenmiştir [Safari and AzariJafari, 2021].



Şekil 4.1: 2012-2020 BIM ve LCA'nın entegrasyonu alanında ilerlemeler ve gelişmeler.

Gelişim düzeyi (LOD) kavramı, bir projenin çeşitli aşamalarında BIM modellerinin ayrıntısını ve güvenilirliğini tanımlamak için çok önemlidir. LOD, BIM'in LCA araçlarıyla entegrasyonunda önemli bir rol oynar. Daha yüksek LOD seviyeleri daha doğru ve ayrıntılı veriler sağlayarak LCA sonuçlarının güvenilirliğini artırır ve tasarım boyunca daha iyi karar almaya yardımcı olur. Ancak, düşük LOD modellerini etkili bir şekilde kullanmada zorluklar devam etmektedir ve daha sonraki aşamalarda genellikle daha sağlam değerlendirmeler gerekir. LCA sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini LOD seçimi önemli ölçüde etkiler. Ayrıntı ve pratik uygulama arasındaki denge nedeniyle genellikle LOD 300 ayrıntılı tasarım aşamaları için tercih edilir. Daha yüksek LOD'lar (LOD 400-LOD 500) daha ayrıntılı bilgi sağlar fakat bununla birlikte ek karmaşıklıklar da meydana gelebilir. LCA'nın BIM ile etkili entegrasyonu belirsizlikleri azaltmaya ve süreci kolaylaştırmaya yardımcı olabilir [Parekh and Trabucco, 2024].

Literatürde BIM ve LCA'yı entegre etmeye yönelik çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Bu yaklaşımların amacı, LCA sürecini basitleştirmek ve sınırlı LCA bilgisine sahip bir tasarımcı tarafından LCA sonuçlarının yorumlanabilmesidir. Bir literatür çalışmasında kapsamlı bir sınıflandırma sağlamak için LCA sürecinin karmaşıklığına ve manuel girdi sayısına göre BIM-LCA yaklaşımları üç başlıkta ele alınmıştır: geleneksel, statik ve dinamik yaklaşım. Yaklaşımlar arasındaki temel farklar, hesaplama türüne, veri değişim sürecine ve verilerin nasıl toplandığı ve kullanıldığına dayanmaktadır **Şekil 4.2** [Braholli, 2020; Safari and AzariJafari, 2021].



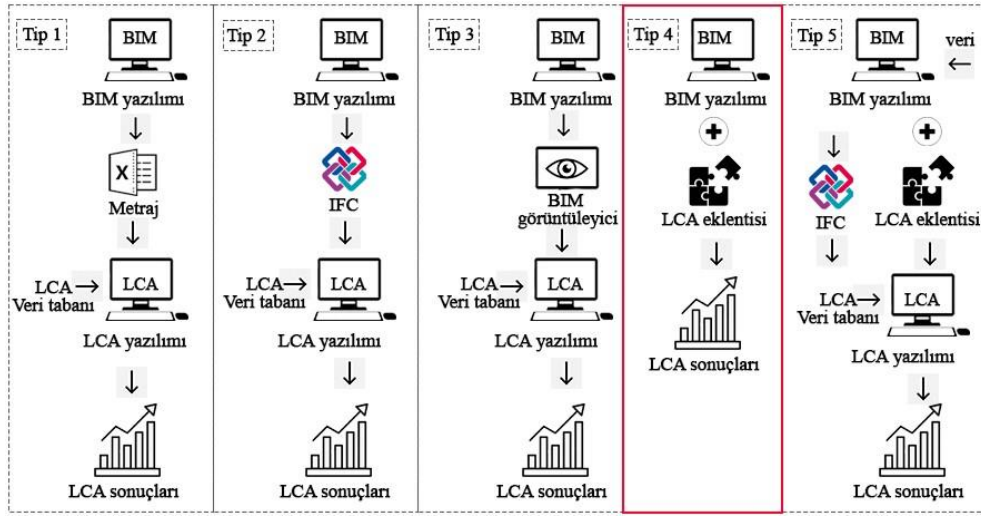
Şekil 4.2: BIM-LCA entegrasyon yaklaşımları.

Geleneksel yaklaşımda, BIM modelinden alınan metraj verileri otomatik olarak bir Excel elektronik tablosuna çıkarılmakta ve çevresel etkilerin hesaplanması doğrudan Excel dosyasında gerçekleşmektedir ya da Excel'deki metraj verileri OpenLCA ve SimaPro gibi LCA araçlarından biri için girdi verisi kaynağı olarak kullanılmaktadır. Statik yaklaşımda ise veri aktarım süreci geleneksel yaklaşımdan farklıdır. LCA araçları için bir girdi olarak kullanılacak BIM modeli metraj çıktıları IFC formatı şeklinde olacaktır. Son olarak diğer yaklaşımlardan daha farklı olan dinamik yaklaşımda, çevresel veriler BIM ortamına alınır. BIM modeli ile LCA veri tabanları arasında çift yönlü ve otomatik bir bağlantı oluşturulur. Bu çift yönlülük tasarım aşamasında sürekli geri bildirimi sağlar. Yani model üzerindeki herhangi bir değişiklik LCA sonuçlarına yansımaktadır [Safari and AzariJafari, 2021].

BIM ve LCA'yı entegre etmeye yönelik başka bir çalışmada ise veri akışının yönüyle ilgili olarak iki ana yaklaşım belirlenmiştir [Wastiels and Decuyper, 2019]:

- BIM modelinden geometrik ve muhtemelen malzemeye ilgili verileri metraj listesi biçiminde çıkarılır. Metraj verileri özel LCA yazılımlarında girdi olarak kullanılır ve LCA hesaplamaları gerçekleştirilir.
- BIM modeline belirli LCA verileri eklenebilir. BIM yazılımı içinde LCA hesaplaması gerçekleştirilir.

Bu iki ana yaklaşım arasında bazı ara yaklaşımlar da belirlenmiştir. Aşağıda, bu beş yaklaşım şematize edilmiş ve daha sonra ayrıntılı olarak açıklanmıştır **Şekil 4.3**.



Şekil 4.3: BIM-LCA entegrasyon yaklaşımları [Wastiels and Decuypere, 2019].

1. tip yaklaşımda BIM yazılımında oluşturulan metraj girdi olarak bir LCA yazılımına aktarılır. Yazılım içerisinde LCA analizi gerçekleştirilir. Bu yaklaşım yinelemeli tasarımı desteklemeyebilir. 2. tip yaklaşımda BIM yazılımında oluşturulan model IFC formatıyla LCA yazılımına olduğu gibi aktarılır. Bu durum LCA yazılımının özelliğine bağlı olarak gerçekleşir. Yazılım içerisinde LCA analizi gerçekleştirilir. 1.tipten farkı veriler otomatik içe aktarılır ve veriler arasında bağlantı sürdürülebilir. Bu yaklaşımda yinelemeli tasarım desteklenebilir ve güncellemeler sağlanabilir. 3. tip yaklaşımda BIM yazılımında oluşturulan model IFC formatıyla dışa aktarılır. Bu aktarım BIM görüntüleyicisinden (BIM modelinin incelenmesini sağlayan bir yazılım aracı) LCA yazılımına gönderilir. Yazılım içerisinde LCA analizi gerçekleştirilir. Bu yaklaşımın avantajı LCA analizi özel bir LCA ortamında tutulur. 4. tip yaklaşımda BIM yazılımında oluşturulan modelde LCA eklentisi sayesinde LCA analizi gerçekleştirilir. Yani özel bir LCA yazılımı kullanmadan eklentinin kullanımıyla LCA analizi gerçekleştirilir. LCA verileri eklenti içerisindeki LCA veri tabanlarından alınır. Tally, One Click gibi araçlar bu eklentilere örnektir. 5. tip yaklaşımda LCA bilgileri BIM modelinde kullanılan BIM nesnelere dahil edilir. Daha sonra bir BIM eklentisiyle veya özel bir LCA aracıyla LCA analizi gerçekleştirilir [Wastiels and Decuypere, 2019].

4.2. LCA Metodolojisiinde Kullanılan BIM Tabanlı Araçlar

LCA çalışmalarında BIM ve CAD tabanlı dijital araçlar geliştirilmiştir. Bu araçlardan bazıları sadece gömülü karbon değerlendirmesi yaparken bazıları da tüm çevresel etkileri, enerji tüketimlerini ele alır. CAD tabanlı LCA araçlara örnek olarak Bombyx, Hammy ve CAALA verilebilir. Bu araçlar eklenti olarak Rhino, Grasshopper gibi yazılımlarda LCA değerlendirmelerinde kullanılır. BIM tabanlı LCA araçlara örnek olarak da Beacon by Thornton Tomasetti, Carbo Life Calculator, Tally, One Click LCA, eTool LCA ve SURAP verilebilir. Beacon ve Carbo Life Calculator araçları sadece gömülü karbon değerlendirmeleri yapan araçlardır **[Dervishaj and Gudmundsson, 2024]**. Bu çalışma gömülü enerjiyi baz aldığı için değerlendirilecek araçlar enerji verilerini içermelidir. Bundan dolayı bu çalışmada Revit eklentilerinden Tally, One Click LCA, eTool LCA ve SURAP araçları ele alınmıştır.

4.2.1. Tally Aracı

Tally, Kieran Timberlake ve PE International tarafından geliştirilen, mühendislerin ve mimarların yapı malzemelerinin çevresel etkisini hem tüm bina analizinde hem de tasarım seçeneklerinin karşılaştırmalı analizlerinde ölçmelerine olanak tanıyan Autodesk Revit yazılımı için bir eklenti uygulamasıdır **[Dalla Mora et al., 2018]**.

Tally metodolojisi, ISO 14040-14044, ISO 21930:2017, ISO 21931:2010, EN 15804:2012 ve EN 15978:2011 LCA standartlarıyla uyumludur. Tally'nin LCA sonuçları incelenen bir nesnenin analizini temsil eder. İncelenen bu nesne tek bir yapı analizi ya da birden fazla yapı tasarım seçeneğinin karşılaştırmalı analizi olabilir. Tally değerlendirmeleri, incelenen nesnenin tüm yaşam döngüsünü hesaba katar ve Gabi veri tabanını kullanır. Yapının inşaat etkileri ve operasyonel enerjisi de isteğe bağlı olarak kapsama dahil edilebilir. Tally'de temsil edilen yaşam döngüsü aşamaları ve temsil ettikleri kapsamlar **[Web 21, 2024]**:

A1-A3 üretim aşamasında ham madde çıkarma ve işlemeden ara nakliye ve nihai üretim ve montaja kadar malzemenin tam imalatını kapsar. Fakat yapı malzemelerinin üretimi ve montajı için gereken yapılar ve makineler gibi altyapılar dahil edilmez ve değerlendirme kapsamı dışında kabul edilir. A4 taşıma aşamasında üretici ile şantiye arasındaki taşıma dahil edilmiştir ve modelleyen tarafından değiştirilebilir. A5 yapım aşaması şantiyede tüketilen enerji ve suyu içerir. B2-B5 bakım aşamasında hizmet

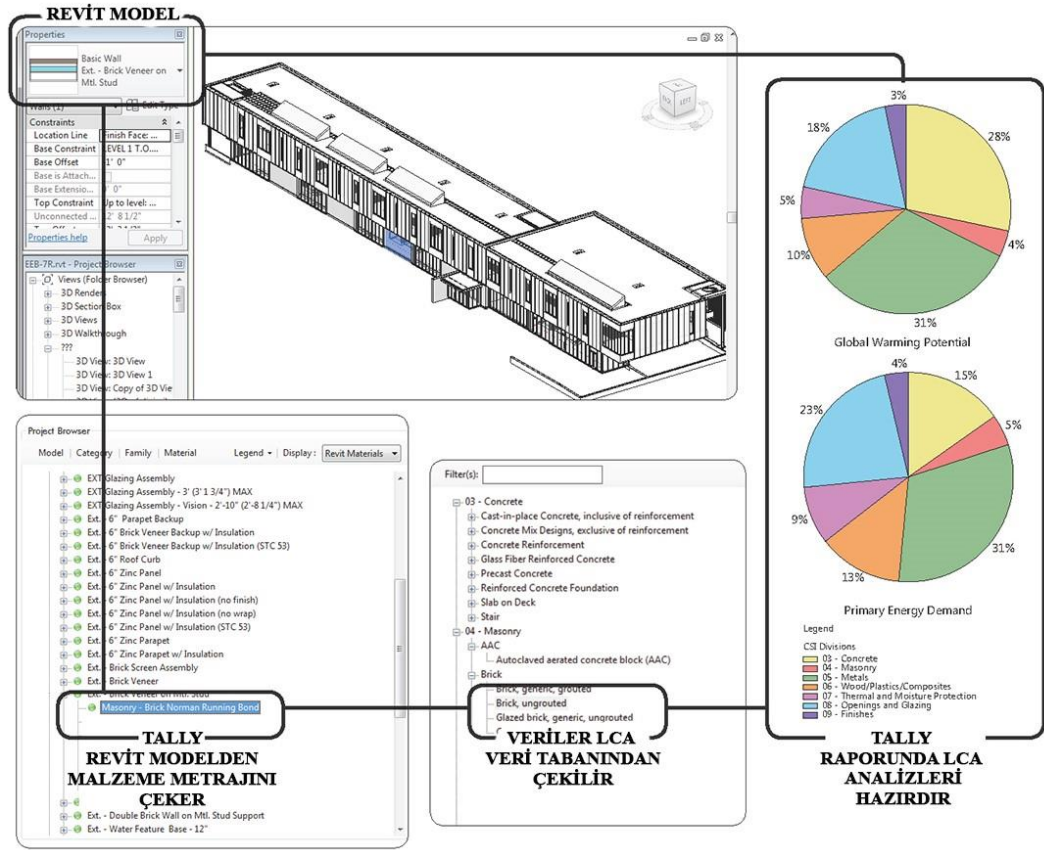
ömrü modelleyen tarafından her ürün için inşaat süreci boyunca ayrı ayrı belirtilir. B6 operasyonel enerji yapının kullanımı boyunca tüketilmesi beklenen enerjiye dayanır ve modelleyen tarafından beklenen veya ölçülen enerji ve doğalgaz kullanımı içerir. C2-C4 yaşam sonu aşaması dönüştürülmüş malzemeler için işleme gereksinimlerini, geri dönüşüm için ilgili malzeme toplama oranlarını, geri yakma oranlarını ve depolama oranlarını içerir. Modül D, enerji geri kazanımı ve geri dönüşüm malzemeleri gibi sistem sınırının ötesindeki aşamadır ve yeniden kullanım potansiyelini hesaba katar.

Tally sonuçları toplam birincil enerji tüketim potansiyeli, yenilenemeyen birincil enerji kaynakların toplam kullanımı, yenilenebilir birincil enerji kaynakların toplam kullanımı, asitleşme potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli, ozon tabakası incilmesi potansiyeli, fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli gibi çevresel etki göstergeleri açısından raporlanır [Web 22, 2014].

Tally'nin özellikle tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanımıyla, malzeme seçimi ve önemli tasarım kararlarını bilgilendirebilecek şu gibi sorular yanıtlanabilir [Web 21, 2024]:

- Hangisi daha az çevre dostudur: betonarme taşıyıcı sistem, çelik taşıyıcı sistem ya da ahşap taşıyıcı sistem mi?
- Yapımda en çok enerji tüketimine neden olan unsur nedir farklı bir yöntem bu tüketimi azaltabilir mi?
- Yapımda kullandığım tuğla malzemesi yaşam döngüsü aşamalarından hangisinde daha çok enerji tüketiyor, ham madde çıkarımı ya da yapım aşaması?
- Yapımda küresel ısınma potansiyeline en çok neden olan unsurlar nelerdir?
- Beton karışımda ikame çimentolu malzeme miktarını artırarak karbon emisyonundan ne kadar tasarruf edebilirim?

Tally aracının iş akışı **Şekil 4.4**'te şematik olarak gösterilmektedir.

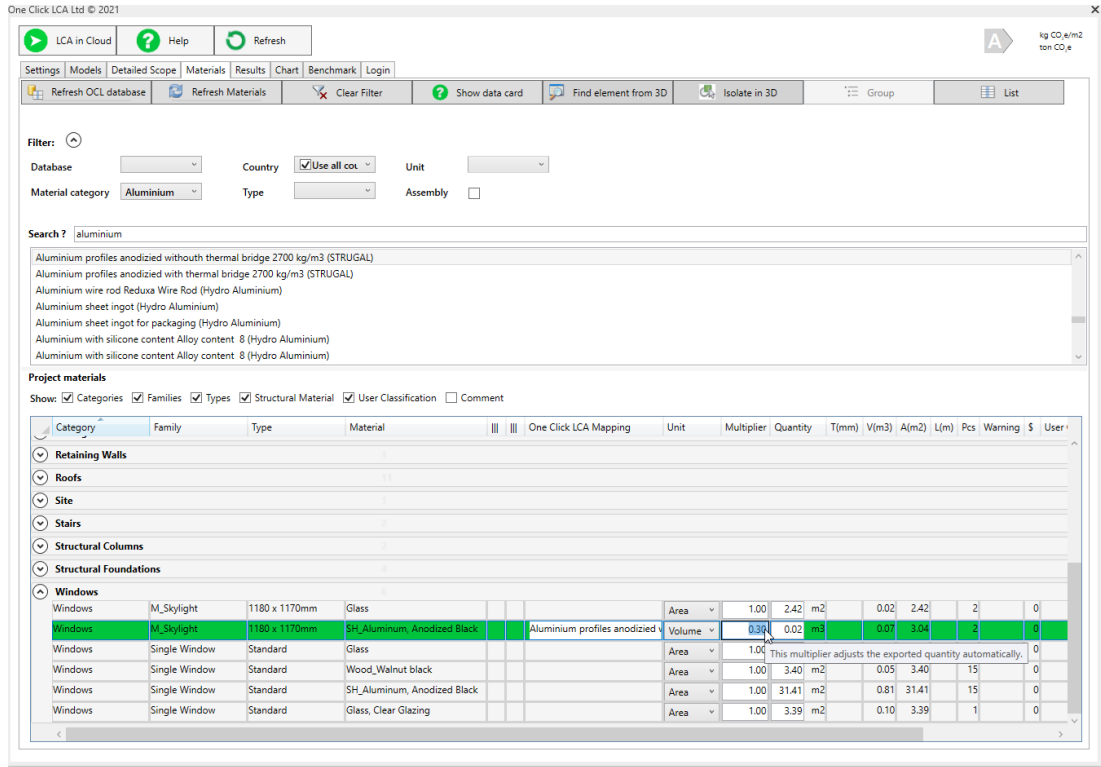


Şekil 4.4: Tally aracının iş akışı [Web 22, 2014].

4.2.2. One Click LCA Aracı

One Click LCA şirketi (eski adıyla Bionova) tarafından geliştirilen One Click LCA, LCA uygulamalarını kolaylaştıran yeşil bina uygulama paketinin geliştiricisidir. Aynı zamanda yapı malzemeleri için Çevresel Ürün Beyanları (EPD) oluşturulmasına olanak tanıyan bir araçtır. Revit yazılımında bir eklenti olarak yapısal ve mimari modellerle çalışır ve malzeme etiketleme uygulamalarına uyum sağlamaktadır. One Click LCA bulut hizmetine otomatik olarak bağlanır, modelde kullanılan malzemeleri otomatik olarak algılar ve çevresel etkilerini hesaplar. Araç ayrıca EN 15978, ISO 21931-1, ISO 21929-1 ve ISO 14040/44 ve EN 15804 standartlarıyla uyumludur. Yaşam döngüsü maliyetinin ve biyolojik çeşitliliğin değerlendirilmesine de olanak sağlar. Araç, üçüncü taraflarca sertifikalandırılmıştır ve 250.000'den fazla LCA veri tabanı ile LEED, BREEAM, GRESB ve daha fazlası dahil olmak üzere 80'den fazla uluslararası standardı ve sertifikayı destekler. One Click LCA, Revit, Tekla ve Bentley dahil olmak üzere en yaygın kullanılan 20'den fazla BIM yazılımıyla entegre

olmaktadır [Dalla Mora et al., 2018; Web 23, 2024]. One Click LCA aracının arayüzü Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5: One Click LCA aracının arayüzü [Web 24, 2024].

One Click LCA, inşa edilmiş çevreye ilişkin tüm dünyadaki LCA verilerini bir araya getirir ve her proje aşaması ve türü için veri çözümleri sunar. One Click LCA, GaBi, Ecoinvent veri tabanını kullanır ve EN 15978'de tanımlandığı gibi tüm yaşam döngüsü aşamalarının hesaplamalarını destekler; buna A1-A5'teki üretim ve yapım aşamaları, B1-B7'deki kullanım, bakım, enerji ve su tüketimi, C1-C4'teki yaşam sonu etkileri ve D modülündeki dış etkiler dahildir [Web 25, 2024]. One Click LCA sonuçları küresel ısınma potansiyeli, ozon tabakası incelmeye potansiyeli, asitleşme potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli, toplam birincil enerji tüketim potansiyeli gibi çevresel etki göstergeleri açısından raporlanır [Web 26, 2024].

One Click LCA aracında sıcak nokta analizi yapılabilmektedir. Bu analiz Revit'te modelde iyileştirme amacıyla en yüksek etkiye sahip öğeleri vurgulayan renk kodlama özelliği kullanılarak hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Bulutta ve Revit eklentisiyle paralel çalışan kullanıcılar, çeşitli grafiklere ve çizelgelere erişebilmektedir. Bu tür

grafikler arasında, öge sınıflandırması ve yaşam döngüsü modülüne göre etkileri gösteren çubuk grafikler, malzeme etkilerini ve bunların birbirleriyle nasıl karşılaştırıldığını görselleştiren ağaç haritaları veya balon grafikleri ve kullanıcıların sıcak noktaları belirlemesine yardımcı olabilecek birçok başka sonuç görselleştirmesi bulunmaktadır **Şekil 4.6 [Web 27, 2024]**.



Şekil 4.6: Revit’te etkilerin görselleştirilmesi.

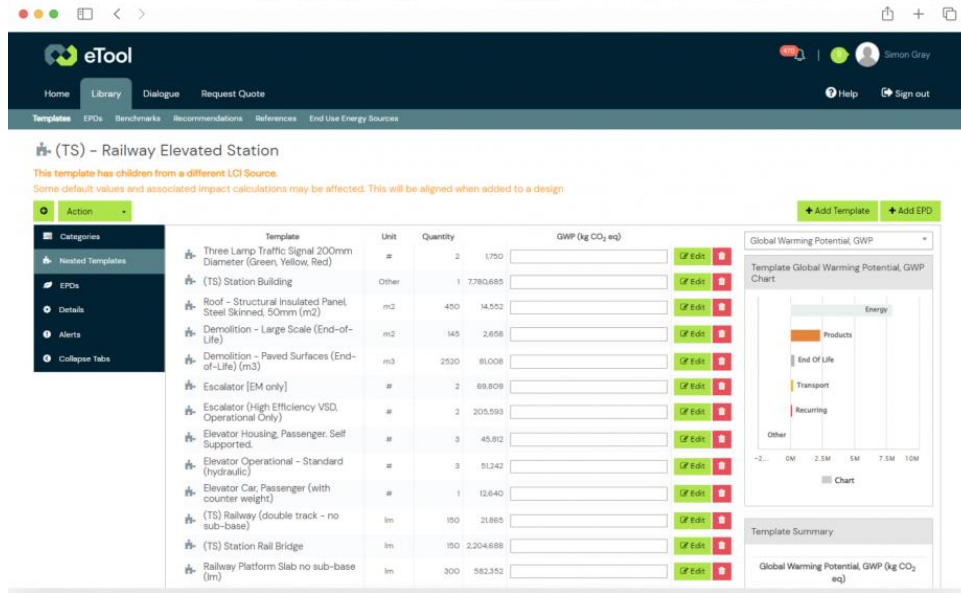
4.2.3. eToolLCD Aracı

Cerclos şirketi tarafından geliştirilen eToolLCD, LCA uygulamalarını kolaylaştıran başka bir araçtır. eToolLCD, uluslararası standartlar ISO 14044 ve EN 15978 (EN15804+A1 ve A2) ve RICS WLCA 2. Baskı ile uyumlu çıktıları olan karşılaştırılabilir sürdürülebilir bina verileriyle tamamlanmış kapsamlı raporlar üretir **[Web 28, 2024]**.

eToolLCA, kullanıcıların tasarımlara EPD eklenmesine, yeni EPD’ler oluşturmaya, farklı EPD’ler arasında karşılaştırma yapmaya, EPD’yi envanterdeki malzemelerle karşılaştırmasına ve ayrıca belirli ürünlerin tüm proje performansı ile nasıl ilişkilendirildiğini anlamaya olanak tanır. Yaşam döngüsü maliyetinin değerlendirilmesinde de kullanılan bir araçtır. Aracın, yaşam döngüsü envanter verileri EPD, AusLCI ve Ecoinvent veri tabanlarından sağlanır **[Web 29, 2024]**.

eToolLCD sonuçları küresel ısınma potansiyeli, ozon tabakası incilmesi potansiyeli, asitleşme potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli, abiyotik tüketim potansiyeli, kaynak kullanımı, atık, yenilenemeyen birincil enerji kaynakların toplam kullanımı, yenilenebilir birincil enerji kaynakların toplam kullanımı gibi çevresel etki göstergeleri açısından raporlanır. Araç tüm yaşam döngüsü aşamalarının hesaplamalarını destekler [Sartori et al., 2021].

eToolLCD aracında One Click LCA'da olduğu gibi sıcak nokta analizi yapılabilir. Excel'de yaygın olarak kullanılan Pivot benzeri bir tablo araca entegre edilmiştir. Bu araçla kullanıcılar grafikler, çubuk grafikler ya da tablolar oluşturmak için çeşitli parametreleri kullanma olanağına sahiptir. Kullanıcıların verileri belirli ölçütlere göre analiz etmelerini sağlayarak, önemli noktaların belirlenmesini kolaylaştırır ve proje sürdürülebilirliğini optimize etmek için bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olur [Web 29, 2024]. eToolLCD aracının arayüzü Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7: eToolLCD aracının arayüzü [Web 30, 2024].

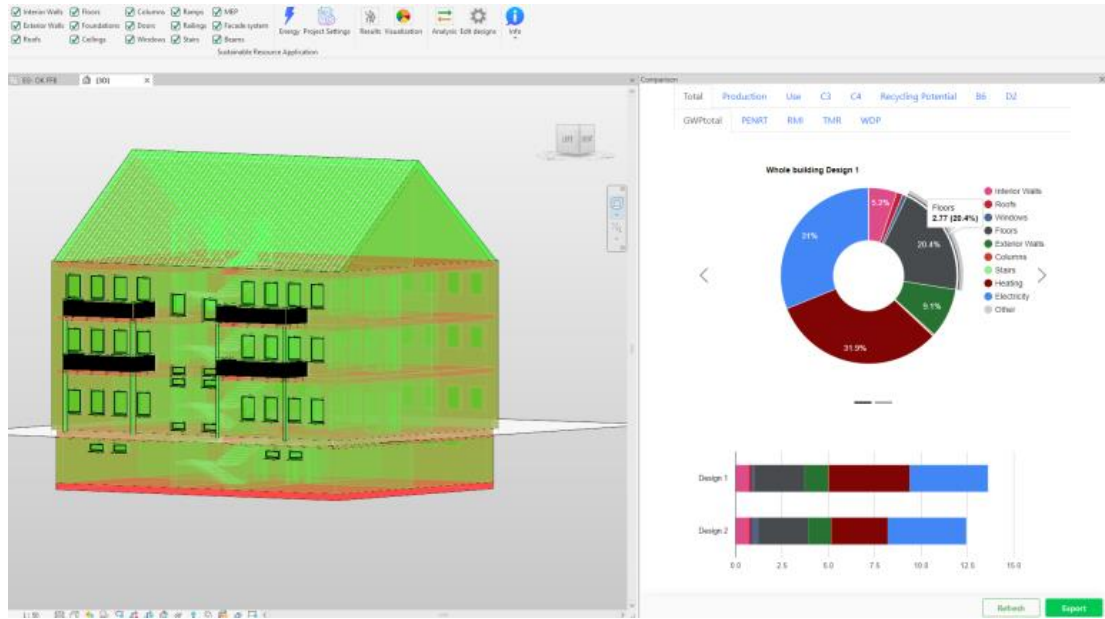
4.2.4. SURAP Aracı

SURAP Alman şirketi tarafından geliştirilen SURAP aracı, yapıların çevresel değerlendirmelerini yapan bir diğer eklentidir. İnşaat projelerinin çevresel etkilerini ölçmek ve görselleştirmek için BIM ve Genişletilmiş Yaşam Döngüsü

Değerlendirmesini (LCA+) birleştiren bir araçtır. Bu durum, mimarların ve planlamacıların çevresel etkileri ve kaynak kullanımını gerçek zamanlı olarak değerlendirmelerine olanak tanır ve kaynak açısından verimli, iklim dostu yapı tasarımlarını teşvik eder. Autodesk Revit için SURAP eklentisi, harici bir yazılıma veya yapı modellerini dışa aktarmaya gerek kalmadan doğrudan Revit ortamında LCA analizinin gerçekleşmesini sağlar **[Web 31, 2024]**.

SURAP aracı uluslararası standart ISO 14040/44 ile uyumlu olan EN 15978 standardına dayanmaktadır. SURAP'taki LCA veri kümeleri EPD veri sağlayıcılarından alınır: ÖKOBAUDAT Version 2023-I, ibu-EPD ve eco-plattform. SURAP'a özgü LCA yaklaşımları vardır. Bu yaklaşımlarda LCA sistem sınırları, çevresel etki göstergeleri ve kıyaslamalar farklıdır. Bu nedenle her yaklaşımın kendi veri tabanı vardır. Bu yaklaşımlar: SURAP açık erişim yaklaşımı, SURAP ayak izi yaklaşımı, QNG VE BNB gibi sertifikalara yönelik destek ve raporlama yaklaşımı ve seviyeler yaklaşımı. Bu çalışmada SURAP'ın deneme sürümü değerlendirilecektir. Bundan dolayı deneme sürecini ele alan SURAP açık erişim yaklaşımının sistem sınırları ve çevresel etki göstergeleri ele alınmıştır **[Web 32, 2024]**.

SURAP açık erişim, sınırlı sayıda veri seti, yaşam döngüsü aşaması ve çevresel gösterge içerir. SURAP aracı hakkında bir fikir vermek amaçlanmıştır. SURAP açık erişimi EN 15978'e uygun olarak A1-A3, B4, B6, C3 ve C4 yaşam döngüsü modüllerini kapsar. LCA sonuçları küresel ısınma potansiyeli, ham madde girişi, yenilenemeyen birincil enerji kaynakların toplam kullanımı gibi çevresel etki göstergeleri açısından raporlanır **[Web 32, 2024]**. SURAP aracının arayüzü **Şekil 4.8'**de gösterilmektedir.



Şekil 4.8: SURAP aracının arayüzü [Web 33, 2024].

Tablo 4.1'de BIM tabanlı LCA araçlarının (Tally, One Click LCA, eToolLCD ve SURAP) hangi şirketler tarafından hangi ülkede ve yılda geliştirildikleri, LCA analiz sonuçlarının hangi süreçleri ve çevresel etki kategorilerini ele aldığını ve içerdikleri veri tabanı bilgileri yer almaktadır.

Tablo 4.1: BIM-LCA yazılım araçları hakkında bilgiler.

	Tally	One Click LCA	eToolLCD	SURAP
Şirket	Kieran Timberlake ve PE International	One Click (Bionova)	Cerclos	SURAP
Ülke	Amerika	Finlandiya	Avustralya	Almanya
Yıl	2013	2016	2010	2024
Web site	choosetally.com	oneclicklca.com	www.cerclos.com	www.surap.de
LCA süreçleri	A1-A3, A4-A5, B2-B5, B6, C2-C4, D	A1-A3, A4-A5, B1, B3-B5, B6-B7, C1-C4, D	A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4, D	A1-A3, A4-A5, B4, B6, C1-C4, D

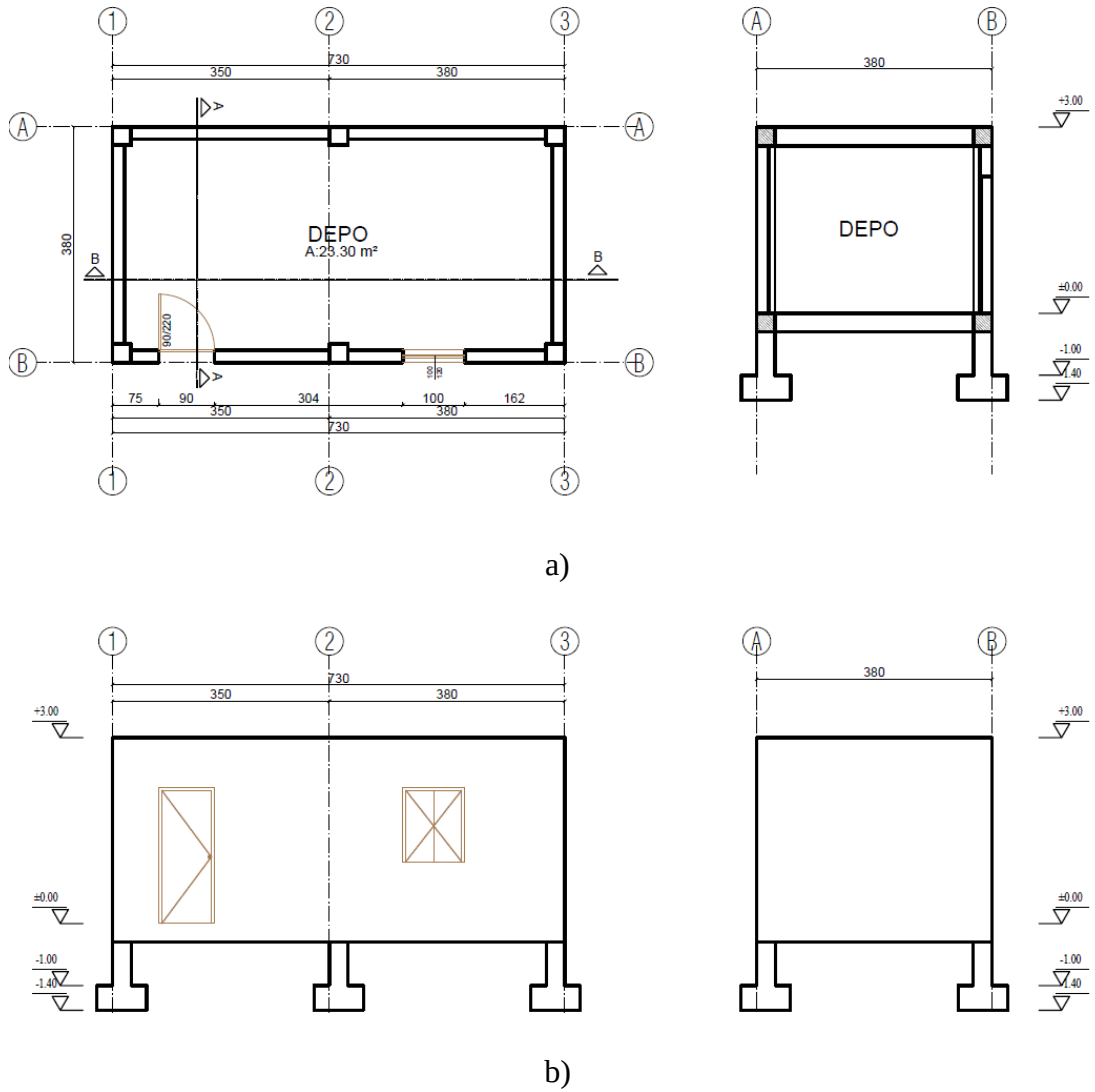
Tablo 4.1 Devamı: BIM-LCA yazılım araçları hakkında bilgiler.

Çevresel Etki Kategorileri	- küresel ısınma potansiyeli, - ozon tabakası incelmesi potansiyeli, - asitleşme potansiyeli, - ötrofikasyon potansiyeli, - fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli, - birincil enerji talebi, - yenilenemeyen enerji talebi, - yenilenebilir enerji talebi	- küresel ısınma potansiyeli, - ozon tabakası incelmesi potansiyeli, - asitleşme potansiyeli, - ötrofikasyon potansiyeli, - fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli, - abiyotik tüketim potansiyeli, - yenilenemeyen birincil enerji kaynakların toplam kullanımı, - yenilenebilir birincil enerji kaynakların toplam kullanımı ...	- küresel ısınma potansiyeli, - ozon tabakası incelmesi potansiyeli, - asitleşme potansiyeli, - ötrofikasyon potansiyeli, - fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli, - arazi kullanımı, abiyotik tüketim potansiyeli, - yenilenemeyen birincil enerji kaynakların toplam kullanımı, - yenilenebilir birincil enerji kaynakların toplam kullanımı ...	- küresel ısınma potansiyeli, - ozon tabakası incelmesi potansiyeli, - asitleşme potansiyeli, - ötrofikasyon potansiyeli, - fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli, - ham madde girişi, abiyotik tüketim potansiyeli, - yenilenemeyen birincil enerji kaynakların toplam kullanımı, - yenilenebilir birincil enerji kaynakların toplam kullanımı ...
Veri Tabanı	GaBi	Ecoinvent, GaBi, ICE, EPD..	EPD, AusLCI ve Ecoinvent	ÖKOBAUDAT Version 2023-I, GaBi, Ecoinvent
Veri Lokasyonu	Kuzey Amerika	Avrupa, Amerika	Avustralya	Almanya

4.3. Örnek Bir Proje Üzerinde Gömülü Enerjinin BIM Tabanlı Araçlarda Değerlendirilmesi

4.2. bölümünde ele alınan ve LCA hesaplamalarında kullanılan BIM tabanlı araçların değerlendirmesini yapabilmek adına örnek bir depo projesi oluşturulmuştur. Proje tek katlı ve tekil temelden oluşan bir yapıdır. Toplam brüt alanı 23 m² ve kat yüksekliği 3

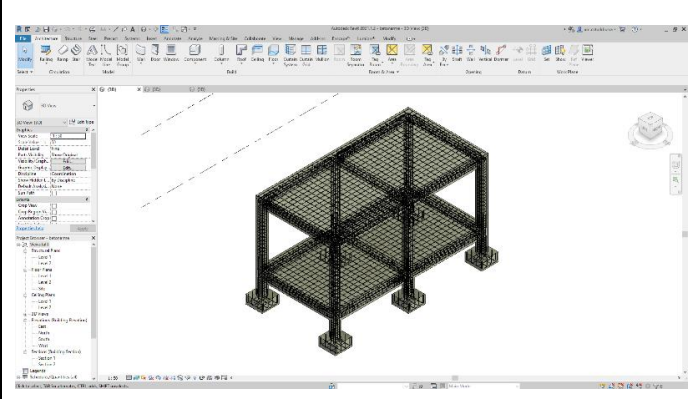
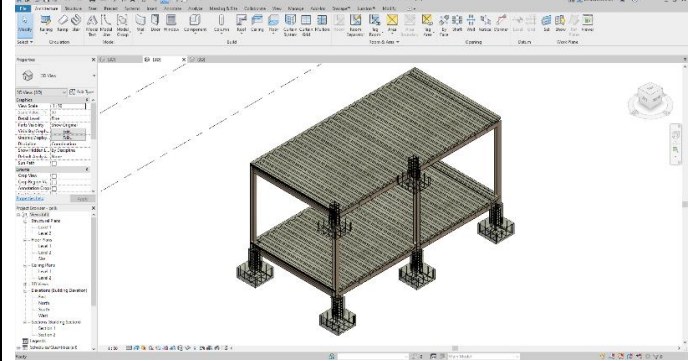
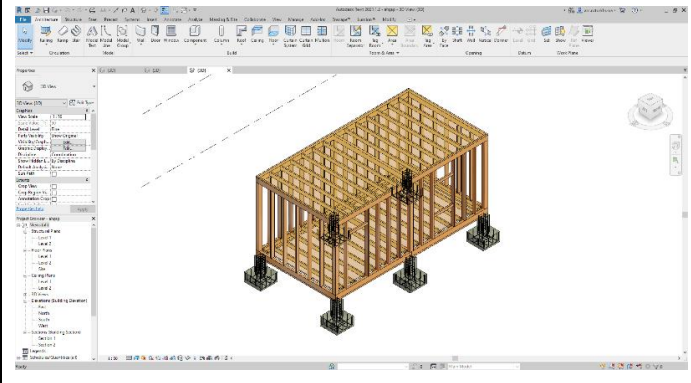
m'dir. **Şekil 4.9**'da yapının plan, kesit ve görünüşleri yer almaktadır. Çalışmada mimarisi aynı olan üç farklı taşıyıcı sistem oluşturularak malzemelerin gömülü enerji kıyasının yapılması hedeflenmiştir. Taşıyıcı sistemlerin ele alınma sebebi, yapının tamamına oranla kütleli ağırlığın fazlaca olması [Azkur ve Canan, 2022] ve diğer bileşenlere göre daha fazla enerji tüketmesidir. Bu karşılaştırma için manuel olarak ve BIM tabanlı araçlar kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmayla birlikte BIM tabanlı araçlarla, yapıların erken tasarım aşamalarında malzemelerin enerji tüketim değerlerinin hesaplanarak düşük enerjili malzeme seçimlerinin yapılması ve bunun sonucunda gömülü enerji tüketiminin azalması hedeflenmektedir.



Şekil 4.9: a) Örnek depo projesinin plan ve kesiti, b) Örnek depo projesinin görünüşleri.

Çalışmada yapı sektöründe sıkça kullanılan betonarme, çelik ve ahşap [Web 34, 2024] taşıyıcı sistemler ele alınmıştır. Bu üç alternatifin temeli aynıdır ve betonarme kullanılmıştır. Kolon-kiriş strüktürü ise betonarme, çelik ve ahşap olarak farklı taşıyıcı çerçevelerden oluşmaktadır. Yukarıdaki örnek depo projesi baz alınarak Revit ortamında bu üç farklı taşıyıcı sistem modellenmiştir. Kolon, kiriş, döşeme ve temelde kullanılan malzeme bilgileri ve modellemeler **Tablo 4.2**'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2: Betonarme, çelik ve ahşap taşıyıcı sistemlerin Revit ortamında oluşturulan modelleri ve malzeme bilgileri.

	Betonarme Taşıyıcı Sistem Kolon: Beton (C25), Çelik donatı Kiriş: Beton (C25), Çelik donatı Döşeme: Beton (C25), Çelik donatı Temel: Beton (C25), Çelik donatı
	Çelik Taşıyıcı Sistem Kolon: Yapısal Çelik, I profil Kiriş: Yapısal Çelik, I profil Döşeme: Çelik trapez sac, beton Temel: Beton (C25), Çelik donatı
	Ahşap Taşıyıcı Sistem Kolon: Yapısal Ahşap Kiriş: Yapısal Ahşap Döşeme: Lamine Ahşap Temel: Beton (C25), Çelik donatı

4.3.1. Manuel Hesaplama ve Değerlendirme

Revit'te oluşturulan üç farklı taşıyıcı sistem modellerinin manuel olarak gömülü enerji hesabı yapılmıştır. Çalışma yapının etki değerlendirmesi kapsamı gömülü enerji ile sınırlandırılmıştır. Aynı zamanda bu çalışma malzemelerin 'beşikten kapıya' kadar olan sürecini ele almaktadır. Ham madde çıkarımı, taşıma ve üretim aşamalarında tüketilen enerji değerlendirilmiştir. Bunun nedeni değerlendirilecek araçlarda oluşturulan enerji verilerinin beşikten kapıya sürecini kesin olarak ele almasıdır. Manuel hesaplamada, Revit ortamında oluşturulan modellerden otomatik metraj özelliği sayesinde metraj verileri alınmıştır ve dışa aktarım ile Excel formatında metraj verileri oluşturulmuştur. Daha sonra LCA esaslı bir veri tabanı olan ICE veri tabanından, malzemelerin gömülü enerji katsayıları alınmıştır. Bu veri tabanı yapı malzemelerinin gömülü enerji ve karbon değerlerini içermektedir. Son aşamada kg birimli metraj verileriyle veri tabanından elde edilen gömülü enerji katsayıları çarpılarak gömülü enerji değerleri elde edilmiş ve oluşturulan taşıyıcı sistemler gömülü enerji kapsamında karşılaştırılmıştır. Bu hesaplamada BIM-LCA entegrasyonu başlığında değinilen geleneksel yaklaşımla bir değerlendirme yapılmıştır.

Betonarme taşıyıcı sistemin gömülü enerji hesabı:

Betonarme taşıyıcı sistemin gömülü enerji hesabı için öncelikle tüm malzemelerin ağırlık birimli metraj verileri **Tablo 4.3**'te oluşturulmuştur. Daha sonra **Tablo 4.4**'te malzemelerin ağırlıkları ile gömülü enerji katsayıları çarpılarak toplam gömülü enerji değerleri elde edilmiştir. Betonarme taşıyıcı sistem için bu değer 66164.18 MJ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.3: Betonarme taşıyıcı sistemli yapının ağırlık birimli metrajı.

Beton Temel Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Beton Temelin Toplam Ağırlığı (kg)
Beton Temel	1.54 m³	2400 kg/m³	3686.40 kg
Beton Kolon Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Beton Kolonun Toplam Ağırlığı (kg)
Beton Kolon	1.84 m³	2400 kg/m³	4406.40 kg
Beton Kiriş Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Beton Kirişin Toplam Ağırlığı (kg)
Beton Kiriş	4.36 m³	2400 kg/m³	10454.40 kg
Beton Döşeme Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Beton Döşemenin Toplam Ağırlığı (kg)
Beton Döşeme	5.49 m³	2400 kg/m³	13185.60 kg
		Toplam Beton Ağırlığı	31732.80 kg
Donatı Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam donatı uzunluğu (m)	Donatı Birim Ağırlık (kg/m)	Donatı Toplam Ağırlık (kg)
Çelik Donatı 10M	687.80 m	0.617 kg/m	424.38 kg
Çelik Donatı 12M	528.70m	0.888 kg/m	469.49 kg
Çelik Donatı 16M	648.53 m	1.578 kg/m	1023.38 kg
		Toplam Donatı Ağırlığı	1917.25 kg

Tablo 4.4: Betonarme taşıyıcı sistemin malzemelere göre gömülü enerji değerleri ve toplam gömülü enerji değeri.

Yapı Malzemeleri	Miktarı (kg)	Gömülü Enerji Katsayısı (MJ/kg)	Gömülü Enerji Değeri (MJ)
Beton (C25)	31732.80 kg	0.78	24751.58
Çelik Donatı	1917.25 kg	21.60	41412.60
		Toplam	66164.18 MJ

Çelik taşıyıcı sistemin gömülü enerji hesabı:

Çelik taşıyıcı sistemin gömülü enerji hesabı için öncelikle tüm malzemelerin ağırlık birimli metraj verileri **Tablo 4.5**'te oluşturulmuştur. Daha sonra **Tablo 4.6**'da

malzemelerin ağırlıkları ile gömülü enerji katsayıları çarpılarak toplam gömülü enerji değerleri elde edilmiştir. Çelik taşıyıcı sistem için bu değer 104126.88 MJ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.5: Çelik taşıyıcı sistemli yapının ağırlık birimli metrajı.

Çelik Kolon Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Çelik Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Çelik Kolon Toplam Ağırlık (kg)
Çelik Kolon	0.07 m³	7850 kg/m³	522.20 kg
Çelik Kiriş Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Çelik Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Çelik Kiriş Toplam Ağırlık (kg)
Çelik Kiriş	0.30 m³	7850 kg/m³	2320.77 kg
		Toplam Çelik Ağırlığı	2842.97 kg
Çelik Trapez Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Uzunluk (m)	Birim Ağırlık (kg/m)	Çelik Trapez Toplam Ağırlık (kg)
Çelik Trapez	188.92 m	1.45 kg/m	273.93 kg
		Toplam Çelik Trapez Ağırlığı	273.93 kg
Beton Temel Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Beton Temelin Toplam Ağırlığı (kg)
Beton Temel	1.54 m³	2400 kg/m³	3686.40 kg
Beton Kolon Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Beton Kolonun Toplam Ağırlığı (kg)
Beton Kolon	0.38 m³	2400 kg/m³	907.20 kg
Beton Döşeme Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Beton Döşemenin Toplam Ağırlığı (kg)
Beton Döşeme	5.29 m³	2400 kg/m³	12684.82 kg
		Toplam Beton Ağırlığı	17278.42 kg
Temel Donatı Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam donatı uzunluğu (m)	Donatı Birim Ağırlık (kg/m)	Donatı Toplam Ağırlık (kg)
Çelik Donatı 10M	48.70 m	0.617 kg/m	30.05 kg
Çelik Donatı 16M	122.94 m	1.578 kg/m	194 kg
		Toplam Donatı Ağırlığı	224.05 kg

Tablo 4.6: Çelik taşıyıcı sistemin malzemelere göre gömülü enerji değerleri ve toplam gömülü enerji değeri.

Yapı Malzemeleri	Miktarı (kg)	Gömülü Enerji Katsayısı (MJ/kg)	Gömülü Enerji Değeri (MJ)
Yapısal Çelik	2842.97 kg	27.10	77044.48
Çelik Trapez Sac	273.93 kg	32	8765.76
Beton (C25)	17278.42 kg	0.78	13477.16
Çelik Donatı	224.05 kg	21.60	4839.48
		Toplam	104126.88 MJ

Ahşap taşıyıcı sistemin gömülü enerji hesabı:

Ahşap taşıyıcı sistemin gömülü enerji hesabı için öncelikle tüm malzemelerin ağırlık birimli metraj verileri **Tablo 4.7**'de oluşturulmuştur. Daha sonra **Tablo 4.8**'de malzemelerin ağırlıkları ile gömülü enerji katsayıları çarpılarak toplam gömülü enerji değerleri elde edilmiştir. Ahşap taşıyıcı sistem için bu değer 45158.88 MJ olarak hesaplanmıştır.

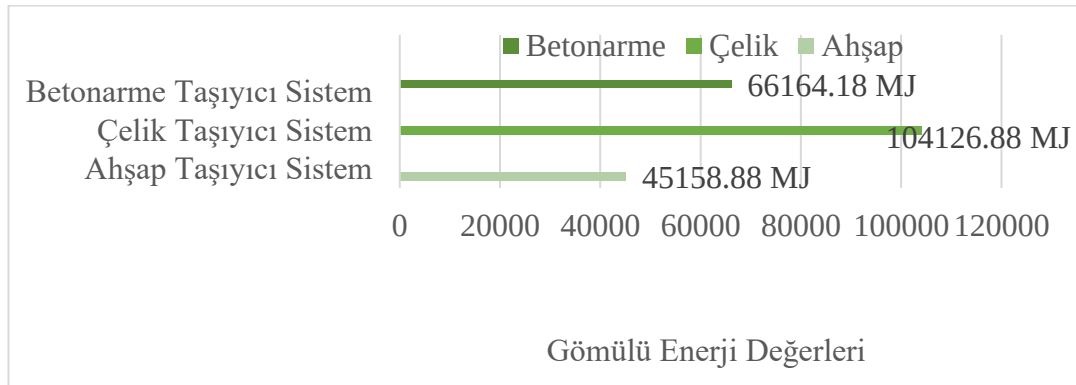
Tablo 4.7: Ahşap taşıyıcı sistemli yapının ağırlık birimli metrajı.

Ahşap Kolon Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Ahşap Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Ahşap Kolon Toplam Ağırlık (kg)
Ahşap Kolon	1.05 m³	600 kg/m³	630 kg
Ahşap Kiriş Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Ahşap Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Ahşap Kiriş Toplam Ağırlık (kg)
Ahşap Kiriş	1.94 m³	600 kg/m³	1163 kg
		Toplam Ahşap Ağırlığı	1793 kg
Lamine Döşeme Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Ahşap Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Lamine Döşeme Toplam Ağırlık (kg)
Lamine Döşeme	2.61 m³	600 kg/m³	1567.20 kg
		Toplam Lamine Ağırlığı	1567.20 kg
Beton Temelin Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Beton Temelin Toplam Ağırlığı (kg)
Beton Temel	1.54 m³	2400 kg/m³	3686.40 kg
Beton Kolon Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam Hacim (m³)	Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Beton Kolonun Toplam Ağırlığı (kg)
Beton Kolon	0.38 m³	2400 kg/m³	907.20 kg
		Toplam Beton Ağırlığı	4593.60 kg
Temel Donatı Ağırlığı			
Yapı Malzemesi	Toplam donatı uzunluğu (m)	Donatı Birim Ağırlık (kg/m)	Donatı Toplam Ağırlık (kg)
Çelik Donatı 10M	48.70 m	0.617 kg/m	30.05 kg
Çelik Donatı 16M	122.94 m	1.578 kg/m	194 kg
		Toplam Donatı Ağırlığı	224.05 kg

Tablo 4.8: Ahşap taşıyıcı sistemin malzemelere göre gömülü enerji değerleri ve toplam gömülü enerji değeri.

Yapı Malzemeleri	Miktarı (kg)	Gömülü Enerji Katsayısı (MJ/kg)	Gömülü Enerji Değeri (MJ)
Yapısal Ahşap	1793 kg	10	17930
Lamine Ahşap	1567.20 kg	12	18806.40
Beton (C25)	4593.60 kg	0.78	3583
Çelik Donatı	224.05 kg	21.60	4839.48
		Toplam	45158.88 MJ

Elde edilen bulgulardan yola çıkarak beşikten kapıya sürecinde çelik taşıyıcı sistemin en fazla gömülü enerji değerine sahip olduğu görülmektedir. Daha sonra bu sıralama betonarme ve ahşap taşıyıcı olarak devam etmektedir. Çelik taşıyıcı sistemde en yüksek gömülü enerjiye sahip olan malzeme yapısal çeliktir. Betonarme taşıyıcı sistemde en yüksek gömülü enerjiye sahip olan malzeme çelik donatıdır. Ahşap taşıyıcı sistemde ise lamine ahşap en yüksek değere sahiptir. Çelik taşıyıcı sistemin ahşap taşıyıcı sisteme göre 2,3 kat kadar gömülü enerji değeri daha yüksektir. Ahşap malzemeli taşıyıcıların üretim süreçlerinde en sürdürülebilir sistemler olduğu hesaplamalar sonucunda görülmektedir. **Şekil 4.10**'da değerlendirmeleri yapılan taşıyıcı sistemlerin grafiksel olarak gömülü enerji değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.10: Betonarme, çelik ve ahşap taşıyıcı sistemlerin gömülü enerji değerlerinin karşılaştırılması.

4.3.2. Tally Aracının Kullanımı, Elde Edilen Gömülü Enerji Değerleri ve Aracın Değerlendirilmesi

Bu bölümde LCA hesaplamasında Tally aracının kullanım aşamalarına değinilmiştir. Oluşturulan taşıyıcı sistemlerin Tally aracıyla hesaplanmış gömülü enerji sonuçlarının

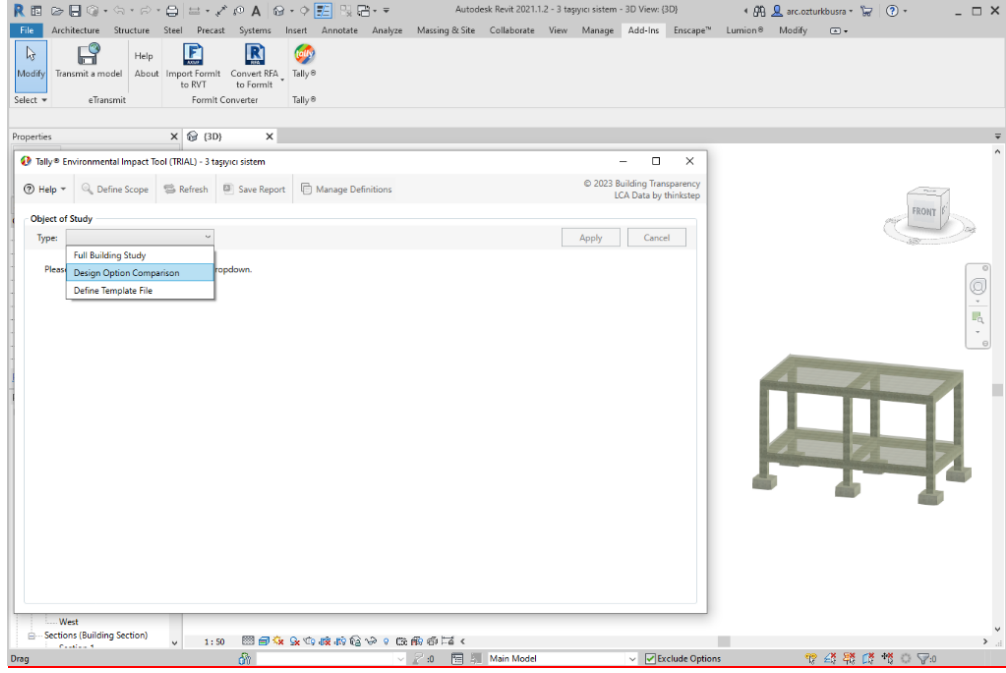
karşılaştırmaları yapılmıştır. Enerji sonuçları yorumlandıktan sonra Tally aracı, kullanım ve LCA analizleri ışığında değerlendirilmiştir.

4.3.2.1 Tally Aracının Kullanımı

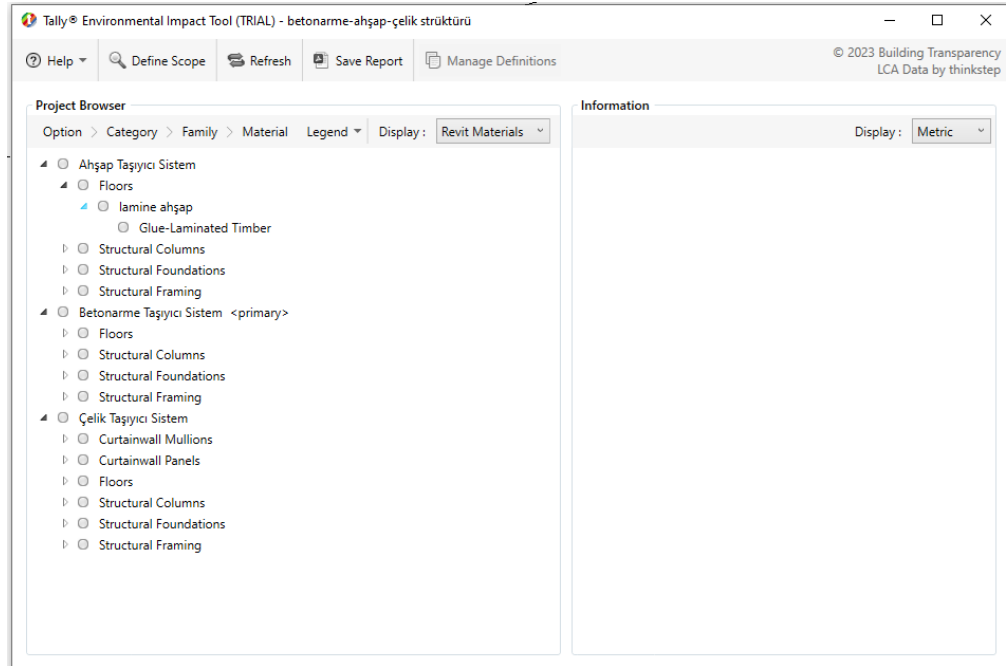
Tally aracının çalışma prensibi genel hatlarıyla şu şekildedir; Revit ortamında oluşturulan modeldeki malzeme metraj verileri Tally eklentisinin arayüzüne otomatik olarak aktarılır. Daha sonra Tally aracındaki veri tabanından, aktarılan malzemelere uygun veriler tanımlanır. Tüm malzemeler için veriler seçildikten sonra tek tuşla LCA sonuçları elde edilir. Aşağıda bu aşamalar, çalışmada oluşturulmuş modeller üzerinden daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Autodesk sitesinden indirilen Tally aracı Revit yazılımında şerit menünün üst başlığında yer alan eklentiler başlığı altında görünür. Tally aracının kullanımına başlamadan önce Revit'te LCA analizinin yapılacağı yapı ya da yapılar tek bir Revit dosyasında modellenir. Bu çalışmada üç yapı modeli de tek Revit dosyasında modellenmiştir ve bu modellerin LCA analizi kıyasının yapılabilmesi için Revit'in tasarım seçeneği özelliğiyle modeller üç farklı seçenek haline getirilmiştir.

Modellemelerden sonra LCA analizi için Revit eklentiler başlığı altındaki Tally sekmesine tıklanır. Ekranda ilk olarak çalışmanın amacı başlığı altında seçilmesi gereken üç farklı seçenek karşımıza çıkar. Bu seçenekler; tek yapı çalışması, tasarım seçeneği karşılaştırması ve şablon dosyasını tanımladır. Tek yapı çalışması, bir model üzerinden LCA analizinin yapılmasıdır. Fakat bu çalışma kapsamında farklı taşıyıcı sistemlerin enerji analizi kıyaslamaları yapılacağından dolayı birden fazla yapının karşılaştırma çalışması olan tasarım seçeneği karşılaştırması seçilmiştir **Şekil 4.11**. Çalışma amacı belirlendikten sonra taşıyıcı sistemlerin seçimi yapılmıştır ve oluşturulan modellerin tüm malzeme ve metraj verileri Tally aracına otomatik olarak eklenmiştir **Şekil 4.12**. Daha sonra Tally aracındaki veri tabanından, eklenen malzemelere uygun olarak ve her malzeme için ayrı ayrı veriler seçilmiştir.



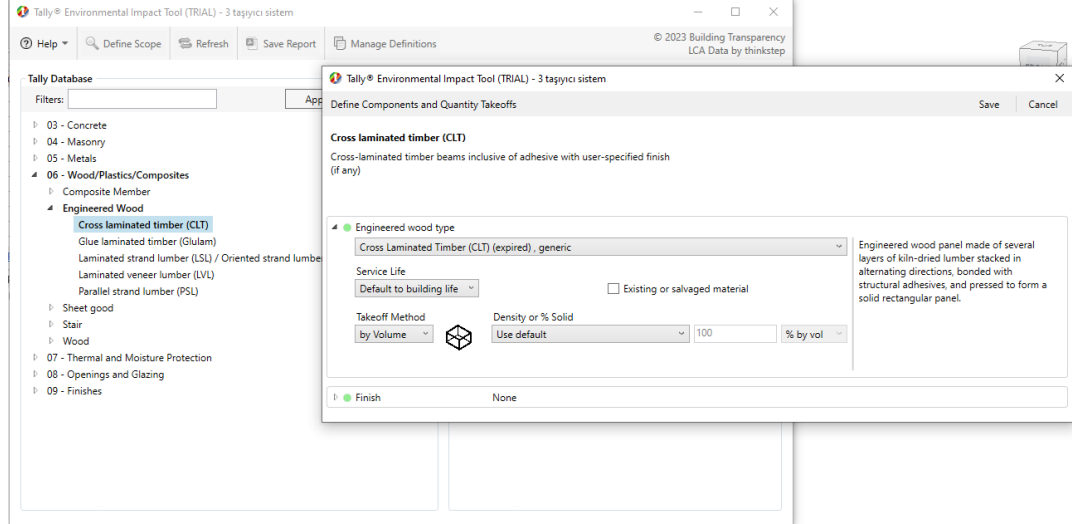
Şekil 4.11: Tally aracının çalışma amacı seçenekleri.



Şekil 4.12: Tally aracına eklenen malzeme verileri.

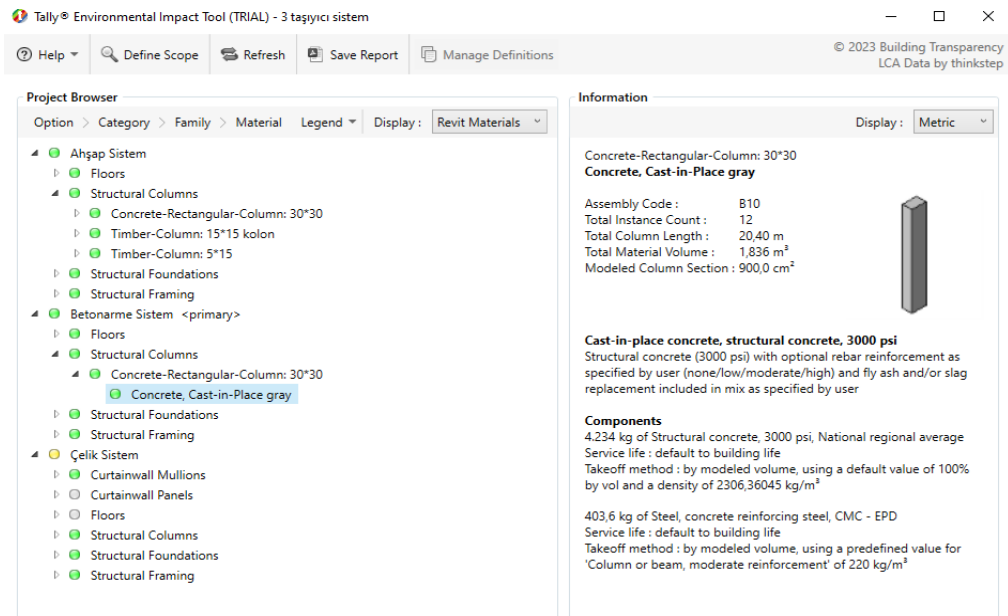
Bu verilerin seçilmesi ilk olarak uygun malzeme başlığını seçmek ve seçilen malzemenin detaylı verilerini işlemektir. Bunun için her malzemenin ‘tanım düzene’ seçeneğiyle malzeme veri tabanı sayfası açılır ve uygun malzeme seçimi yapılır. Malzeme seçimini tamamlamak için detaylı olarak bileşen ve miktar tanımını yapmak üzere yeni bir ekran açılır. Kullanıcı bu ekranda malzeme tipi, hizmet ömrü, birim

hacim ağırlığı gibi verileri düzenler. Her veri tamamlandığında malzemelerin sol yanında bulunan yuvarlak lejant yeşil rengini alır. Eğer veri girilmediyse bu lejant beyaz renktedir **Şekil 4.13**. Lejantlar sayesinde tek bir sayfa üzerinde verilerin eksik olup olmadığı görülebilir ve bu sayede veri düzenlemelerinde kolaylık sağlanır.



Şekil 4.13: Malzeme verilerinin detaylı olarak düzenlendiği ekran.

Veri düzenlemeleri tamamlandıktan sonra malzeme sayfasına baktığımızda, tüm malzeme listesi sayfanın solunda ve Revit modelinden aktarılan ve veri tabanından seçilen malzeme verileri ise sayfanın sağında yer almaktadır **Şekil 4.14**.



Şekil 4.14: Tüm malzeme listesi ve malzeme bilgilerini içeren ekran.

Son aşamada ‘raporu kaydet’ sekmesine tıklanarak açılan sayfada, rapor detayları başlığı altında, proje hakkında istenen bilgiler eklenir. Proje ismi, proje konumu, yapının metrekaresi, beklenen yapı ömrü, değerlendirmenin amacı ve kapsamı, ulaşım etkileri ve sonuçların hangi formatta olacağı gibi istenen bilgiler doldurulur **Şekil 4.15**. ‘Kaydet’ sekmesine basılır ve sonuçlar birkaç saniye içerisinde hem PDF hem de Excel formatında elde edilir.

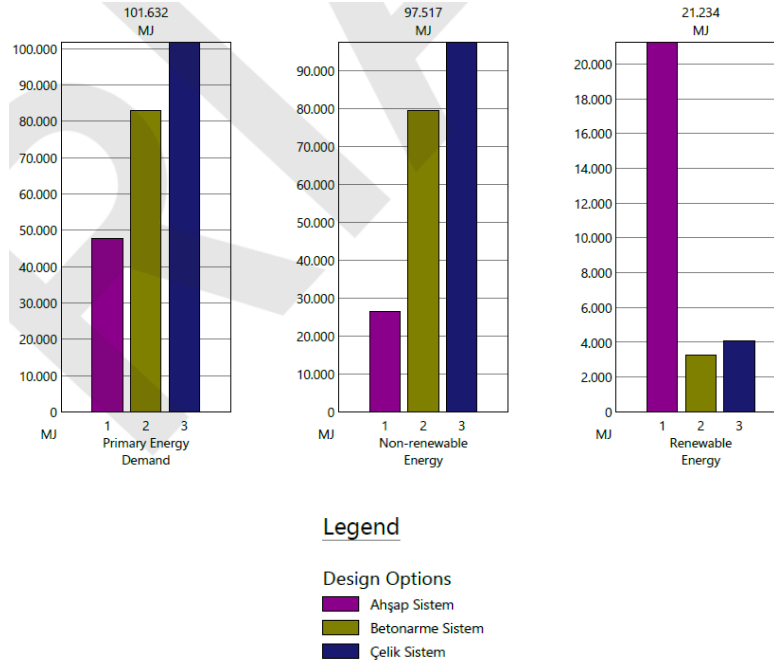
Şekil 4.15: Rapor detayları ekranı.

4.3.2.2 Taşıyıcı Sistemlerin Tally Aracıyla Elde Edilen Gömülü Enerji Değerleri

Tally aracının LCA analizinde birçok çevresel etki ve enerji sonuçları elde edilmiştir. Fakat çalışma kapsamı gömülü enerji ve üretim aşaması (A1-A3) olduğu için taşıyıcı sistemler bu kapsamda ele alınmıştır. Sonuçlar hem Excel formatında sayısal verilerle hem de PDF formatında grafiksel gösterimlerle karşılaştırılmıştır. Enerji değerleri üç başlıkta sonuçlanmıştır; birincil enerji talebi toplamı, yenilenemeyen enerji talebi toplamı ve yenilenebilir enerji talebi toplamı. A1-A3 sürecindeki enerji kıyaslamalarına baktığımızda manuel hesaplamada olduğu gibi, en yüksek enerji tüketimi çelik taşıyıcı sistemde görülmektedir. Sonra sırasıyla betonarme ve ahşap taşıyıcı sistemler takip etmektedir. Ahşap taşıyıcılarda yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji değerleri neredeyse aynıdır ve en az gömülü enerji değere sahiptir.

Tally aracıyla PDF formatında sayısal ve grafiksel gösterim olarak elde edilen LCA raporunun tamamı EK A'dadır. Rapor sadece enerji verilerini değil aynı zamanda

çevresel etki verilerini de içermektedir. **Şekil 4.16**'daki grafikte yapıların A1-A3, A4, B2-B5, C2-C4 ve D aşamalarında tüketilen toplam enerji ele alınmaktadır. Grafiksel sonuçlarda A1-A3 sürecinin birincil enerji talebi toplamı gösterilmemektedir. Fakat bu süreç Excel'de sayısal veri olarak elde edilmiştir **Tablo 4.9**.



Şekil 4.16: Taşıyıcı sistemlerin Tally aracıyla elde edilen enerji değerlerinin grafiksel olarak karşılaştırılması.

Tablo 4.9: Taşıyıcı sistemlerin Tally aracıyla elde edilen gömülü enerji değerleri.

A1-A3 süreci için	Betonarme Taşıyıcı	Çelik Taşıyıcı	Ahşap Taşıyıcı
Birincil Enerji Talebi Toplamı	60744,36 MJ	92646,82 MJ	53671,62 MJ
Yenilenemeyen Enerji Talebi Toplamı	57427,35 MJ	88825,94 MJ	26975,35 MJ
Yenilenebilir Enerji Talebi Toplamı	3326,23 MJ	3772,32 MJ	26698,76 MJ

4.3.2.3 Tally Aracının Değerlendirilmesi

Tally aracının ücretli sürümü bulunmaktadır fakat çalışmada ücretsiz deneme sürümü kullanılmıştır ve değerlendirme, deneme sürümüne göre yapılmıştır. Ücretli sürümde süreç ve sonuçlardaki kapsam farklı olabilir. Tally aracı, beş başlık altında değerlendirilmiştir: metraj verilerinin araca aktarımı, araçtaki veri tabanı özellikleri,

aracın arayüz özellikleri, sonuç verileri ve analiz kapsamı. Bu başlıklar aracın kullanım süreci ve LCA sonuçları ışığında oluşturulmuştur.

- Metraj verilerinin araca aktarımı:

Revit'te oluşturulan modelin malzeme metraj verileri Tally aracına otomatik olarak aktarılır. Aracın bu özelliği zaman kaybını azaltır. Ayrıca isteğe bağlı olarak tüm model metrajı, birden fazla modellerin metrajı ya da oluşturulan modelin seçilen bir yapı elemanının metrajı araca aktarılabilir. Örneğin modelin sadece duvar metraj verileri araca aktarılır. Bu özellik sonuç verilerinin istenilen kapsamda elde edilmesini sağlar.

Revit modelinde değiştirilen bir malzemenin metraj verisi de araca otomatik olarak aktarılır. Böylece erken tasarım aşamalarında malzeme alternatifleri söz konusu olduğunda araç ile zaman kaybı olmaksızın malzemelerin enerji verilerinin kıyasıyla malzeme tercihi yapılabilir.

- Veri tabanı özellikleri:

Metraj verilerinin araca aktarımından sonra araçtaki veri tabanından, aktarılan malzemelere uygun olarak veri seçimi gerçekleştirilir. Bu seçim otomatik olarak gerçekleşmez. Kullanıcı her malzeme için veri tabanındaki malzeme verileri arasından tek tek uygun olanını seçer. Ayrıca malzeme verileri GaBi veri tabanından alınır. Onun dışında bir veri tabanı kullanılmamaktadır ve manuel bir veri girişi de yapılamamaktadır. Bu durum sonuçların yaklaşık değerler olarak elde edilmesine neden olur.

- Aracın arayüz özellikleri:

Revit içerisinde bir eklenti olan aracın arayüzünde lejant gösterimleri karşımıza çıkmaktadır. Bu lejantlar malzemelere veri eklenip eklenmediği bilgisini kullanıcıya vermektedir. Bu durum kullanıcıya kolaylık sağlar. Kullanıcı, malzeme başlıklarının yer aldığı listede, lejant renkleriyle eksik verileri hızlıca tespit edip veri eklemelerini gerçekleştirebilir.

Aracın arayüzünde tespit edilen bir durum da verileri eklenen malzemelerin, çevresel etki ve enerji değerlerinin bir ön izlemesinin olmamasıdır. Örneğin veri tabanından malzeme verisi eklenen ahşap bir döşemenin enerji sonucu aracın arayüzünde gösterilmemektedir. Kullanıcının enerji verisini elde etmesi için çalışma sonuçlanmalı ve raporlanmalıdır. Bu durum malzeme alternatiflerinin kıyaslanmasında zorluk yaşatabilir. Örneğin enerji kıyası

yapılacak olan a ve b alternatifli malzemelerin enerji verilerini elde etmek için iki defa sonuç almak gerekmektedir.

- Sonuç verileri:

Aracın sonuç alma aşaması, malzemelerin tüm girdi verileri tamamlandıktan sonra oldukça hızlıdır. Saniyeler içerisinde hem PDF formatında hem de Excel formatında elde edilir.

PDF formatında eğer tek bir model değerlendirildiyse onun sonuçları yer alır. Fakat bu çalışmada olduğu gibi birden fazla model değerlendirilirse karşılaştırmalı grafikler ve tablolar şeklinde sonuçlar elde edilir. Bu karşılaştırmalı sonuçlar yapının üretim, kullanım gibi aşamalar özelinde ya da modelin kategori (döşeme, taşıyıcılar) özelinde detaylı ve grafiksel olarak ele alınmıştır. Excel formatında ise her aşamanın verileri tablolarda sayısal değerlerle ifade edilmiştir.

- Analiz kapsamı:

Sonuçların süreç olarak kapsamını incelediğimizde A1-A3 üretim süreci, A4 ulaşım süreci, B2-B5 bakım ve değiştirme süreci, C2-C4 yaşam sonu süreci ve son olarak D yeniden kullanım, geri dönüşüm süreci ele alınmıştır. Ele alınmayan süreçler ise, A5 inşaat kurulumu süreci, B1 yapı kullanım süreci, B6-B7 operasyonel enerji ve su kullanım süreci ve C1 yapı söküm sürecidir.

Sonuçların çevresel etkileri ve enerji kategorilerine baktığımızda ise küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon, duman oluşumu, ozon tabakasının incilmesi, birincil enerji talebi, yenilenemeyen enerji talebi ve yenilenebilir enerji talebi başlıkları yer almaktadır.

4.3.3. One Click LCA Aracının Kullanımı, Elde Edilen Gömülü Enerji Değerleri ve Aracın Değerlendirilmesi

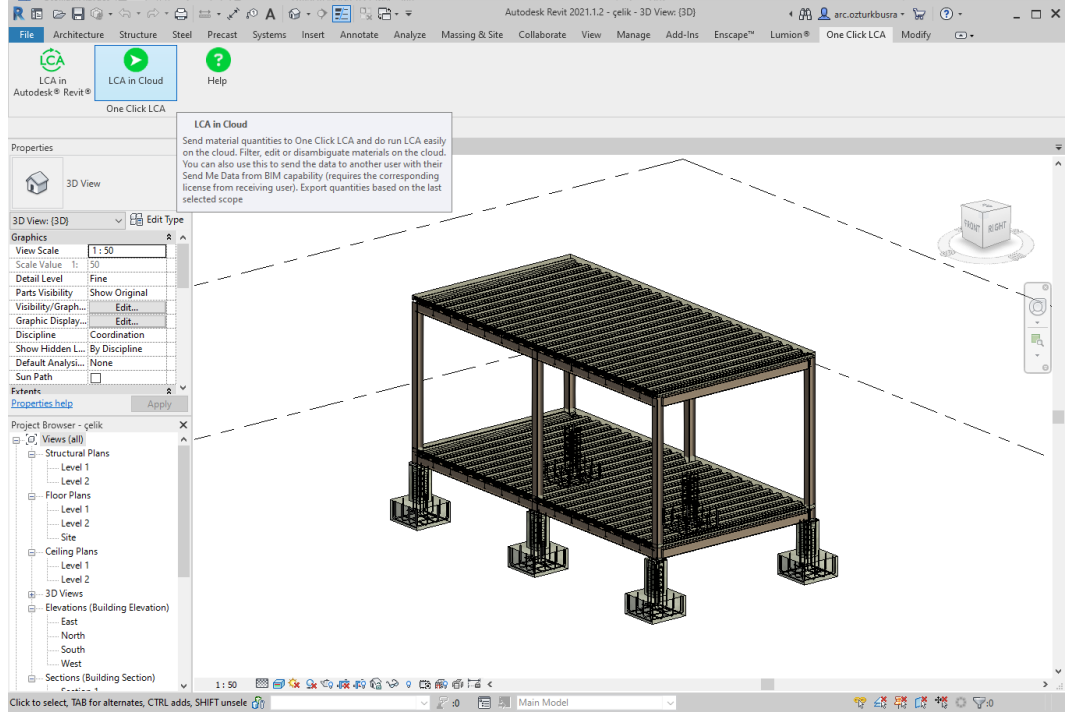
Bu bölümde LCA hesaplamasında One Click LCA aracının kullanım aşamalarına değinilmiştir. Oluşturulan taşıyıcı sistemlerin One Click LCA aracıyla hesaplanmış gömülü enerji sonuçlarının karşılaştırmaları yapılmıştır. Enerji sonuçları yorumlandıktan sonra One Click LCA aracı, kullanım ve LCA analizleri ışığında değerlendirilmiştir.

4.3.3.1 One Click LCA Aracının Kullanımı

One Click LCA aracının çalışma prensibi genel hatlarıyla şu şekildedir; Revit ortamında oluşturulan modeldeki malzeme metraj verileri One Click LCA eklentisinin arayüzüne ya da web sürümüne otomatik olarak aktarılır. Daha sonra One Click LCA aracındaki veri tabanından, aktarılan malzemelere uygun veriler tanımlanır. Tüm malzemeler için veriler seçildikten sonra tek tuşla LCA sonuçları elde edilir. Aşağıda bu aşamalar, çalışmada oluşturulmuş modeller üzerinden daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

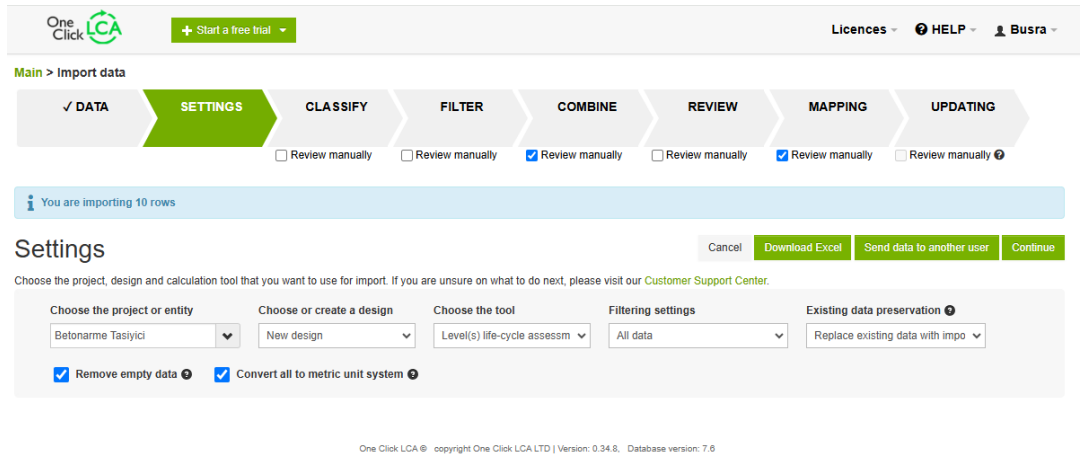
Autodesk sitesinden indirilen One Click LCA aracı Revit yazılımında şerit menünün üst başlığında yer alır. Aracın kullanımına başlamadan önce Revit'te LCA analizinin yapılacağı yapılar modellenir. Tally aracında tek Revit dosyası üzerinde oluşturulan modellerin LCA analizi yapılabilirken, One Click LCA'da yapılamamaktadır. Modeller ayrı Revit dosyalarında oluşturulmalıdır. Bundan dolayı bu çalışmada üç taşıyıcı model ayrı Revit dosyalarında modellenmiştir.

Modellemelerden sonra LCA analizi için Revit'in One Click LCA başlığı altında 'LCA in Autodesk Revit' ya da 'LCA in Cloud' olmak üzere iki farklı sekme bulunur **Şekil 4.17.** İlk sekme olan 'LCA in Autodesk Revit', eklenti olarak çalışır ve Revit içerisindeki arayüzde LCA analizini gerçekleştirir. Bu analizde metraj verileri eklentiye otomatik aktarılır ve daha sonra kullanıcı veri tabanındaki malzeme verilerini seçer ve eşleştirir. İkinci sekme olan 'LCA in Cloud' ise, metraj verilerini doğrudan buluta gönderir ve web sürümünde LCA analizi devam eder. Bu analizde veri tabanındaki malzeme verileri otomatik olarak seçilmiştir ve istenirse veriler değiştirilebilir. Bu çalışmada 'Bulutta LCA' ile web sürümü üzerinden analiz yapılmıştır.



Şekil 4.17: Revit'te One Click LCA sekmesi altındaki 'LCA in Autodesk Revit' ve 'LCA in Cloud' seçenekleri.

İlk olarak One Click LCA başlığı altındaki 'LCA in Cloud' sekmesine tıklanır ve web sürümünde yeni bir sekme açılır. Ekranda ilk olarak ayarlar başlığı altında eklenmesi gereken bilgiler yer alır **Şekil 4.18**. Bu sayfada içe aktarılmak istenen proje seçilir ve filtreleme ayarları yapılarak sonraki adıma geçilir.



Şekil 4.18: One Click LCA web tarayıcısında ilk açılan ekran, ayarlar sayfası.

Sonraki adım Revit'ten aktarılan malzemelerin sınıf, malzeme, aile tipi adı gibi gruplandırmaların yapıldığı sayfadır. Bu gruplandırmalar verileri daha düzenli hale getirmek içindir ve isteğe göre gerçekleştirilir. Gruplandırma adımından sonra eşleştirme aşaması gelmektedir. Eşleştirme aşamasında Revit'ten aktarılan malzeme metraj verileri web sürümünde yer alan veri tabanındaki verilerle otomatik olarak tanımlanmıştır. Bu aşamada tanımlanmayan veriler de olmaktadır. Sayfada tanımlanmış ve tanımlanmamış başlığı altında iki farklı listedeki veriler kullanıcı tarafından düzenlenebilmektedir **Şekil 4.19**. Otomatik olarak aktarılan bu veriler birçok veri tabanından, EPD'lerden elde edilir. Malzeme verileri çok fazla olduğu için sayfanın üst kısmında yer alan çeşitli filtreleme seçenekleriyle kullanıcı isteğe bağlı olarak malzeme seçimlerini yapabilir. Bu çalışmada malzeme verileri Türkiye'de oluşturulan EPD'lerden seçilmeye çalışılmıştır. Malzeme verilerinin bulunamadığı durumlarda diğer veriler arasından seçimler yapılmıştır.

Main > Betonarme Tasıyıcı > 2 - Betonarme Tasıyıcı > Import data

✓ DATA ✓ SETTINGS DATAPPOINTS: 10 ✓ CLASSIFY ✓ FILTER DATAPPOINTS: 9 ✓ COMBINE ✓ REVIEW DATAPPOINTS: 9 **MAPPING DATAPPOINTS: 9 + 1** UPDATING

MAPPING Results Cancel Download Excel Save new mappings Continue

Material Country Data source Type Upstream CO2e Unit Standard Filter: Clear

?

Datasets are automatically identified by the software if similar data was mapped previously. Existing mappings are used in a descending order of priority: your own mappings, mappings of your organisation, mappings in same country, and all mappings (to add system mappings, full name, and recognition rulesets AND defaults from spitting data). Mappings take into consideration also other properties of the imported dataset, for example its classification. You can change any mappings you wish. Changes will be automatically memorized.

Unidentified, unquantified or composite materials are not imported, unless you map them to resources. Units will be converted automatically if necessary.

✓ Identified data: 8 / 99.85 % of volume

Material	Class	Comment	Building Parts	Quantity	Share	Resource name	Mapping basis	Decide later	Save new
concrete, cast-in-place gray	SLAB	Floor	1.2.1 Frame (beams, columns and	55 m2	40.77 %	Ready-mix concrete, C 30/37, Bet	Users in Turkey	Delete	
concrete, cast-in-place gray	BEAM	Concrete-Rectangular Beam	1.2.1 Frame (beams, columns and	4.36 m3	32.36 %	Ready-mix concrete, M30 (C30) (ACC Limited) - International EPD System	Report bad mapping		
concrete, cast-in-place gray	COLUMN	Concrete-Rectangular-Column	1.2.1 Frame (beams, columns and	1.84 m3	13.66 %	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37 (4400/5400 PSI), 40% recycled binders in cement (300 kg/m3 / 18.72 lbs/ft3) - One Click LCA	Report bad mapping		
concrete, cast-in-place gray	FOUND.	Footing-Rectangular	1.1.1 Piles	1.54 m3	11.43 %	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C20/25 (2900/3600 PSI), 0% recycled binders in cement (240 kg/m3 / 14.98 lbs/ft3) - One Click LCA	Report bad mapping		
16m	OTHER	Rebar Bar	Not defined	0.11 m3	0.82 %	Hollow core concrete slabs, generic, C30/37 (4400/5400 PSI), 40% recycled binders in cement (300 kg/m3 / 18.72 lbs/ft3), incl. reinforce - One Click LCA	Report bad mapping		
12m	OTHER	Rebar Bar	Not defined	0.06 m3	0.45 %	Ready-mix concrete, B35 M45 max. rebar d 16 mm sink depth 200mm (Altid Belong) - EPD Norge	Report bad mapping		
10m	OTHER	Rebar Bar	Not defined	0.05 m3	0.37 %	Hollow core concrete slabs, generic, C30/37 (4400/5400 PSI), 0% (typical) recycled			
gross internal floor area	OTHER		Not defined	250 m2		Gross Internal Floor Area (GIFA) - Users in Turkey	Delete		

✓ Unidentified or problematic data: 1 / 0.15 % of volume You only need to map items once. We remember your choices. Delete all < 1 % Delete all < 0.1 %

Şekil 4.19: One Click LCA web tarayıcısında eşleştirme sayfası, tanımlanan ve tanımlanmayan veriler listesi.

Sonuç verilerini almadan önce yıllık enerji tüketim ve hesaplama süresi verilerini girmek gerekmektedir. Bu veriler girildikten sonra sonuçlar birkaç saniye içerisinde web sayfası üzerinde hem sayısal hem de grafiksel olarak elde edilir.

4.3.3.2 Taşıyıcı Sistemlerin One Click LCA Aracıyla Elde Edilen Gömülü Enerji Değerleri

One Click LCA aracının LCA analizinde birçok çevresel etki ve enerji sonuçları elde edilmiştir. Fakat çalışma kapsamı gömülü enerji ve üretim aşaması (A1-A3) olduğu için taşıyıcı sistemler bu kapsamda ele alınmıştır. Sonuçlar hem Excel formatında hem de PDF formatında sayısal ve grafiksel olarak elde edilmiştir. One Click LCA aracı oluşturulan farklı tasarım modellerinin LCA sonuçlarını karşılaştırmalı olarak da elde edebilmektedir. Fakat bu çalışmada web sürümündeki veri girişi kaynaklı bir hatadan dolayı veriler ayrı ayrı elde edilmiştir. Elde edilen sayısal veriler ondalık ve bilimsel sayılar olarak tablolaştırılmıştır.

Enerji değerleri beş başlıkta sonuçlanmıştır; fosil kaynaklar için abiyotik tükenme (ADPF-fosil yakıtlar), yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanımı, birincil enerjinin toplam kullanımı (ham madde hariç), yenilenebilir birincil enerjinin toplam kullanımı, yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımı **Tablo 4.10**. A1-A3 sürecindeki enerji kıyaslamalarına baktığımızda manuel hesaplamada olduğu gibi, en yüksek enerji tüketimi çelik taşıyıcı sistemde görülmektedir. Sonra sırasıyla betonarme ve ahşap taşıyıcı sistemler takip etmektedir. One Click LCA aracıyla elde edilen LCA raporu EK B'dedir. Rapor sadece enerji verilerini değil aynı zamanda çevresel etki verilerini de içermektedir.

Tablo 4.10: Taşıyıcı sistemlerin One Click LCA aracıyla elde edilen gömülü enerji değerleri.

A1-A3 süreci için	Betonarme Taşıyıcı	Çelik Taşıyıcı	Ahşap Taşıyıcı
Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme (ADPF-fosil yakıtlar)	87041,51 MJ	121217,59 MJ	24301,86 MJ
Yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanımı	0 MJ	0 MJ	47746,64 MJ
Birincil enerjinin toplam kullanımı (ham madde hariç)	87397,55MJ	139104,55 MJ	28512,21 MJ
Yenilenebilir birincil enerjinin toplam kullanımı	4303,68 MJ	17484,24 MJ	57248,83 MJ
Yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımı	83093,86 MJ	121620,58 MJ	19517,71 MJ

4.3.3.3 One Click LCA Aracının Değerlendirilmesi

One Click LCA aracının ücretli sürümü bulunmaktadır fakat çalışmada ücretsiz öğrenci sürümü kullanılmıştır ve değerlendirme, öğrenci sürümüne göre yapılmıştır. Ücretli sürümde süreç ve sonuçlardaki kapsam farklı olabilir. One Click LCA aracı, beş başlık altında değerlendirilmiştir: metraj verilerinin araca aktarımı, araçtaki veri tabanı özellikleri, aracın arayüz özellikleri, sonuç verileri ve analiz kapsamı. Bu başlıklar aracın kullanım süreci ve LCA sonuçları ışığında oluşturulmuştur.

- Metraj verilerinin araca aktarımı:

Çalışmada farklı taşıyıcı sistemlerin LCA sonuçlarını One Click LCA aracında karşılaştırmak için taşıyıcı sistemler ayrı Revit dosyalarında modellenmiştir. Bu durum Tally aracında tek dosyada mümkündür fakat One Click LCA aracında üç model ayrı ayrı değerlendirilmiştir ve bu sebeple iş gücü Tally aracına göre artmıştır.

Revit'te oluşturulan modelin malzeme metraj verileri araca otomatik olarak aktarılır ve aktarım iki şekilde gerçekleşir: One Click LCA'nın Revit eklentisine ya da web sürümüne otomatik olarak aktarılır. Aracın bu özelliği zaman kaybını azaltır. Ayrıca isteğe bağlı olarak tüm model metrajı ya da seçilen bir yapı elemanının metrajı araca aktarılabilir. Örneğin modelin sadece kolon metraj verileri araca aktarılır. Bu özellik sonuç verilerinin istenilen kapsamda elde edilmesini sağlar.

Revit modelinde değiştirilen bir malzeme verisi One Click LCA eklentisine otomatik olarak aktarılır. Böylece erken tasarım aşamalarında malzeme alternatifleri söz konusu olduğunda araç ile zaman kaybı olmaksızın malzemelerin enerji verilerinin kıyasıyla malzeme tercihi yapılabilir. Revit modelinde yapılan malzeme değişikliği sonucunu web sürümünde görmek istersek, değişen malzeme verilerini web sürümüne yeniden aktarmak gerekir. Bunun yerine direkt web sürümünden malzeme değişikliği yapılabilir ve birkaç saniye içerisinde sonuç elde edilir.

- Veri tabanı özellikleri:

Metraj verilerinin Revit One Click LCA eklentisine aktarımından sonra eklentideki veri tabanından, aktarılan malzemelere uygun olarak veri seçimi gerçekleştirilir. Bu seçim eğer eklentide yapılıyorsa otomatik olarak

gerçekleşmez. Kullanıcı her malzeme için veri tabanındaki malzeme verileri arasından tek tek uygun olanını seçer.

Metraj verilerinin One Click LCA web sürümüne aktarımdan sonra veri tabanından, aktarılan malzemelere uygun olarak araç otomatik olarak veri seçimi yapar. Kullanıcı isteğe bağlı olarak otomatik seçilmiş olan malzeme verilerini değiştirebilir veya düzenleyebilir. Ayrıca bazı malzemeler araç tarafından tanımlanmayabilir. Bu durumda kullanıcı uygun malzeme verilerini seçerek bu verileri tanımlamalıdır.

Ayrıca One Click LCA aracında malzeme verilerinin manuel girişi yapılamamaktadır fakat çok sayıda veri tabanı bulunmaktadır. Veri tabanında birçok ülkenin, farklı malzeme üreticilerinden elde edilen EPD verileri bulunmaktadır. Hatta çalışma kapsamında Türkiye’de elde edilen veriler de kullanılmıştır. Veri tabanında yerel verilerin bulunmasıyla daha doğru sonuçlar elde edilebilir.

- Aracın arayüz özellikleri:

One Click LCA web arayüzünde malzeme seçimini kolaylaştırıcı filtreleme özelliği bulunmaktadır. Fakat Revit modelinden aktarılan malzeme isimleriyle web sürümünde One Click LCA’daki isimleriyle gözükür. Bu da malzemeyi algılamayı zorlaştırabilir. Sonuç raporları web arayüzünde gözükmemektedir. Eğer çalışma Revit eklentisinde yapılıyorsa sonuç raporları için web sürümüne geçiş yapılmalıdır. Bu durum birden fazla arayüzde işlem yapmayı gerektirir. Malzeme seçimlerinden sonra web arayüzünde sonuçlar elde edilir. Sonuçlardan yola çıkarak yapılacak malzeme değişikliği yine aynı arayüzde yapılabilir. Hatta farklı modellerin malzeme seçimleri tek bir sayfada yapılabilir. Malzeme seçimleri sonuç alınsa bile tekrardan web arayüzünde yapılabilir. Bu durum her süreçte malzeme verilerinin düzenlenebildiğini göstermektedir.

- Sonuç verileri:

Aracın sonuç alma aşaması, malzemelerin tüm girdi verileri tamamlandıktan sonra oldukça hızlıdır. Saniyeler içerisinde PDF, JPEG ve Excel formatında elde edilir. Web sayfasında yer alan LCA sonuçları isteğe bağlı olarak Excel formatında ondalık ve bilimsel sayı olarak elde edilir. Grafiksel veriler ise web sayfasında gözükmemektedir. Bu grafiksel veriler tek model üzerinden elde

edildiği gibi birden fazla yapı karşılaştırmasında da kullanılır. Ayrıca grafiksel gösterimler çevresel etki kategorilerine göre değiştirilebilir.

Birincil enerji sonuçları, web sayfasındaki sonuç raporunda yer almaktadır fakat sonuç özetinde bu veriler eksiktir. Sonuçlar yeterince detaylı değildir.

- Analiz kapsamı:

Sonuçların süreç olarak kapsamını incelediğimizde A1-A3 üretim süreci, A4 ulaşım süreci, A5 inşaat kurulum süreci, B1 kullanım süreci, B3-B5 onarım ve değiştirme süreci, B6-B7 operasyonel enerji ve su kullanımı süreci, C1-C4 yaşam sonu süreci ve son olarak D yeniden kullanım, geri dönüşüm süreci ele alınmıştır. Ele alınmayan süreçler ise B2 bakım sürecidir.

Sonuçların çevresel etkileri ve enerji kategorilerine baktığımızda ise küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon, ozon tabakasının incilmesi, biyogenik karbon depolama, alt atmosfer ozonunun oluşumu, fosil olmayan kaynaklar için abiyotik tükenme, fosil kaynaklar için abiyotik tükenme, yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanımı, birincil enerjinin toplam kullanımı (ham madde hariç), yenilenebilir birincil enerjinin toplam kullanımı, yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımı ve net tatlı su kullanımı başlıkları yer almaktadır.

4.3.4. eToolLCD Aracının Kullanımı, Gömülü Enerji Değerleri ve Aracın Değerlendirilmesi

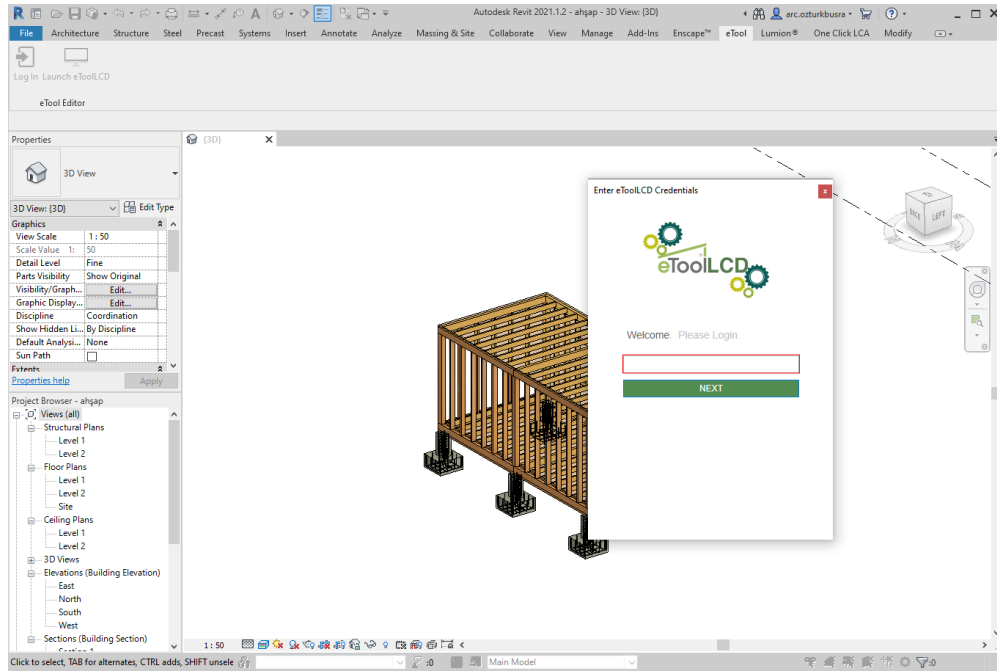
Bu bölümde LCA hesaplamasında eToolLCD aracının kullanım aşamalarına değinilmiştir. Oluşturulan taşıyıcı sistemlerin eToolLCD aracıyla hesaplanmış gömülü enerji sonuçlarının karşılaştırmaları yapılmıştır. Enerji sonuçları yorumlandıktan sonra eToolLCD aracı, kullanım ve LCA analizleri ışığında değerlendirilmiştir.

4.3.4.1 eToolLCD Aracının Kullanımı

eToolLCD aracının çalışma prensibi genel hatlarıyla şu şekildedir; Revit ortamında oluşturulan modeldeki malzeme metraj verileri eToolLCD eklentisi vasıtasıyla web sürümüne otomatik aktarılır. Daha sonra araçtaki şablonlardan, aktarılan malzemelere uygun veriler tanımlanır. Tüm malzemeler için veriler seçildikten sonra tek tuşla LCA sonuçları elde edilir. Aşağıda bu aşamalar, çalışmada oluşturulmuş modeller üzerinden daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

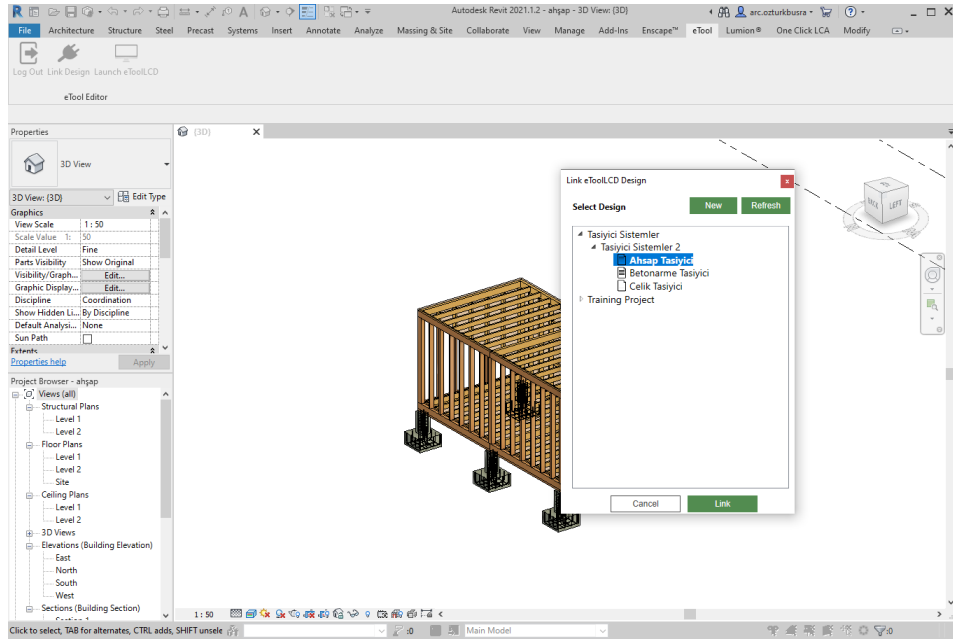
LCA analizinin yapılabilmesi için öncelikle eToolLCD web sürümünden bir hesap açılır. Daha sonra hesapta Revit'ten aktarılabacak metraj verileri için her taşıyıcı sistem adına tasarım dosyaları oluşturulur. Bu Revit'ten aktarılabacak malzeme metrajları için bir ön işlemdir.

Autodesk sitesinden indirilen eToolLCD aracı Revit yazılımında şerit menünün üst başlığında yer alır. Aracın kullanımına başlamadan önce Revit'te LCA analizinin yapılacağı yapılar modellenir. One Click LCA aracında olduğu gibi bu çalışmada da üç taşıyıcı model ayrı Revit dosyalarında modellenmiştir. Modellemelerden sonra LCA analizi için öncelikle Revit'in eToolLCD başlığı altındaki 'Log In' sekmesine tıklanarak eTool hesabına giriş yapılır **Şekil 4.20**.



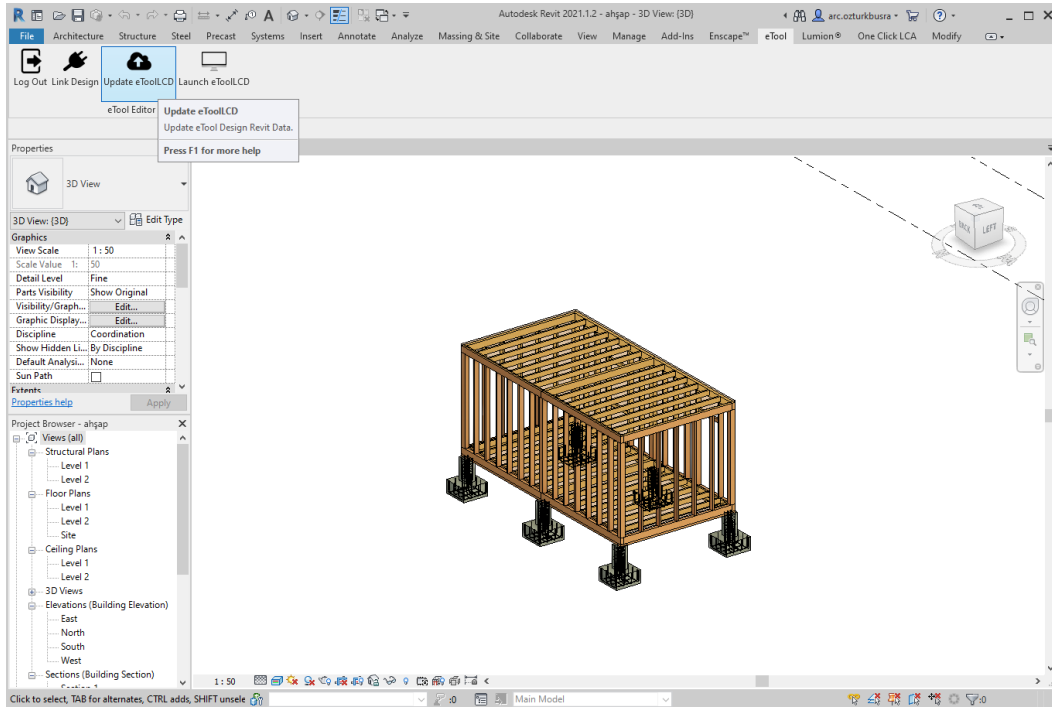
Şekil 4.20: Revit yazılımından eToolLCD hesabına giriş sayfası.

Daha sonra eToolLCD hesabında oluşturulan tasarım dosyasıyla Revit modeli arasındaki bağlantıyı kurabilmek amacıyla eTool başlığı altındaki 'Link Design' sekmesine tıklanır ve burada dosya seçimi yapılır **Şekil 4.21**. Bu işlem çalışma kapsamında oluşturulan diğer modeller için de ayrı Revit dosyalarında yapılmıştır.



Şekil 4.21: Revit modelinin eToolLCD’ye bağlantısı.

Dosyayla bağlantı sağlandıktan sonra yine eTool başlığı altındaki ‘Update eToolLCD sekmesine tıklanarak modeldeki metraj verileri aracın web sürümüne aktarılır. Update eToolLCD aynı zamanda Revit modelinde yapılacak malzeme değişimlerinden sonra da kullanılır. Bu sayede metraj verileri aracın web sürümünde güncellenir **Şekil 4.22**.



Şekil 4.22: Revit modelindeki metraj verilerinin eToolLCD’ye aktarımı.

Import Templates

1

Upload File

2

Set Up

3

Match

4

Success

Drop csv files here or click to upload.

Ag

Bu bilgisayar > Masaüstü > etool

etool klasöründe ara

DiziyoleYeni klasör

Hali erişim

OneDrive - Person

Bu bilgisayar

3D Hızlandır

Belgeler

Ad

Alışıp etool

betonarme etool

çelik etool

Durum

Değiştirme tarihi

3.01.2025 18:01

3.01.2025 18:57

3.01.2025 20:32

Tür

Microsoft Excel VBL

Microsoft Excel VBL

Microsoft Excel VBL

Boyut

1

1

1

Dosya adıalışıp etoolMicrosoft Excel Comma SeparatAgİzle

Import Templates

1

Upload File

2

Set Up

3

Match

4

Success

Select preferred matching process

Identify unique template names and apply matches to all duplicate names

Identically match every row of the import regardless of duplicates

Default Design Function (Unique Asset ID)

Betonarme Tasıyıcılı Depo

Map Imported Columns to eTool/LCD Fields

Template Name	Quantity	Unit
building kategori	miktar	unit
beton temel	1.54	m³
beton kolon	1.84	m³
beton kırıp	4.36	m³
beton döşeme	5.49	m³
donatı	1865	m

< Back

Next >

Import Templates

1

Upload File

2

Set Up

3

Match

4

Success

< Back

Next >

Template Name	Match Template	Lock Costs
beton temel	Choose	OFF
beton kolon	Choose	OFF
beton kırıp	Choose	OFF
beton döşeme	Choose	OFF
donatı	Choose	OFF

< Back

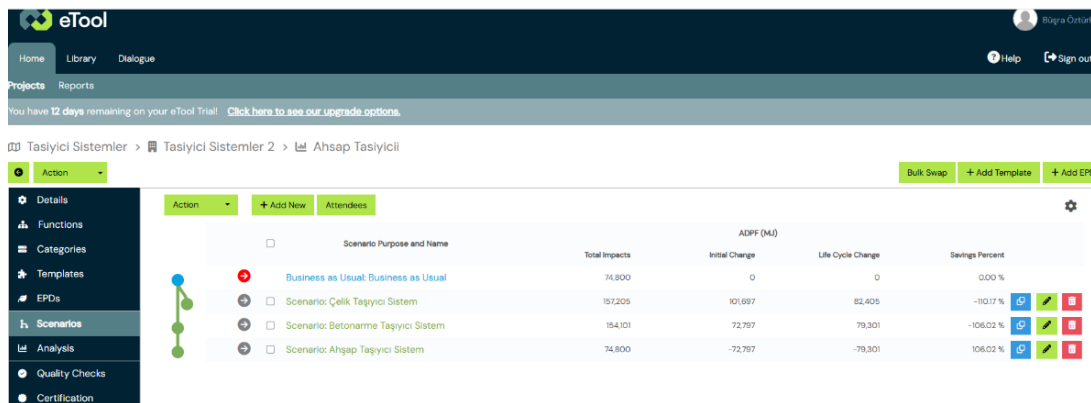
Next >

102

4.3.4.2 Taşıyıcı Sistemlerin eToolLCD Aracıyla Elde Edilen Gömülü Enerji Değerleri

eToolLCD aracının LCA analizinde birçok çevresel etki ve enerji sonuçları elde edilmiştir. Fakat çalışma kapsamı gömülü enerji ve üretim aşaması (A1-A3) olduğu için taşıyıcı sistemler bu kapsamda ele alınmıştır. Sonuçlar hem Excel formatında hem de PDF formatında sayısal ve grafiksel olarak elde edilmiştir. Elde edilen sayısal veriler ondalık ve bilimsel sayılar olarak tablolaştırılmıştır. Araçta senaryoların etki kategorilerini karşılaştırma özelliği sayesinde üç taşıyıcı sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca tüketilen abiyotik tükenme enerji değerleri karşılaştırılmıştır **Şekil 4.26**.

Enerji değerleri yedi başlıkta sonuçlanmıştır; fosil kaynaklar için abiyotik tükenme, yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının enerji kaynağı olarak kullanımı, yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanımı, yenilenebilir birincil enerjinin toplam kullanımı, yenilenemeyen birincil enerji kaynaklarının enerji kaynağı olarak kullanımı, yenilenemeyen birincil enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanımı, yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımı **Tablo 4.11**. A1-A3 sürecindeki enerji kıyaslamalarına baktığımızda manuel hesaplamada olduğu gibi, en yüksek enerji tüketimi çelik taşıyıcı sistemde görülmektedir. Sonra sırasıyla betonarme ve ahşap taşıyıcı sistemler takip etmektedir. eToolLCD aracıyla elde edilen LCA rapor sonuçlarının bir bölümü EK C’dedir. Rapor sadece enerji verilerini değil aynı zamanda çevresel etki verilerini de içermektedir.



Scenario Purpose and Name	Total Impacts	ADPF (MJ)	Initial Change	Life Cycle Change	Savings Percent
Business as Usual Business as Usual	74,800	0	0	0	0.00 %
Scenario: Çelik Taşıyıcı Sistem	197,205	101,697	82,405	-10,17 %	
Scenario: Betonarme Taşıyıcı Sistem	154,101	72,797	79,301	-106,02 %	
Scenario: Ahşap Taşıyıcı Sistem	74,800	-72,797	-79,301	106,02 %	

Şekil 4.26: Taşıyıcı sistemlerin eToolLCD aracıyla elde edilen abiyotik tükenme enerji değerlerinin sayısal olarak karşılaştırılması.

Tablo 4.11: Taşıyıcı sistemlerin eToolLCD aracıyla elde edilen gömülü enerji değerleri.

A1-A3 süreci için	Betonarme Taşıyıcı	Çelik Taşıyıcı	Ahşap Taşıyıcı
Abiyotik Tükenme- Fosil Yakıtlar (ADPF)	103,096 MJ	128,584 MJ	42,734 MJ
Yenilenemeyen birincil enerji kaynaklarının enerji kaynağı olarak kullanımı	103,669 MJ	130,814 MJ	43,828 MJ
Yenilenemeyen birincil enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanımı	1,719 MJ	2.,411 MJ	1,175.7 MJ
Yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımı (PENRT)	105,397 MJ	133,233 MJ	45,008 MJ

4.3.4.3 eToolLCD Aracının Değerlendirilmesi

eToolLCD aracının standart, uzman gibi paketleri bulunmaktadır fakat çalışmada ücretsiz deneme sürümü kullanılmıştır ve değerlendirme, deneme sürümüne göre yapılmıştır. Diğer paketlerdeki süreç ve sonuçlardaki kapsam farklı olabilir. eToolLCD aracı, beş başlık altında değerlendirilmiştir: metraj verilerinin araca aktarımı, araçtaki veri tabanı özellikleri, aracın arayüz özellikleri, sonuç verileri ve analiz kapsamı. Bu başlıklar aracın kullanım süreci ve LCA sonuçları ışığında oluşturulmuştur.

- Metraj verilerinin araca aktarımı:

Çalışmada farklı taşıyıcı sistemlerin LCA sonuçlarını eToolLCD aracında karşılaştırmak için taşıyıcı sistemler ayrı Revit dosyalarında modellenmiştir. Bu durum Tally aracında tek dosyada mümkündür fakat eToolLCD aracında üç model ayrı ayrı değerlendirilmiştir ve bu sebeple iş gücü Tally aracına göre artmıştır.

Revit'te oluşturulan modelin malzeme metraj verileri araca otomatik olarak aktarılır. Revit modelinde değiştirilen bir malzeme verisi Revit eklentisiyle eToolLCD web sürümünde otomatik olarak güncellenir. Böylece erken tasarım aşamalarında malzeme alternatifleri söz konusu olduğunda araç ile zaman kaybı olmaksızın malzemelerin enerji verilerinin kıyasıyla malzeme tercihi yapılabilir.

- Veri tabanı özellikleri:

Araç, Ecoinvent ve AusLCI veri tabanlarını kullanmaktadır. Ayrıca çeşitli EPD'lere de eTool'un veri tabanından erişilebilir. Araçta malzeme verileri şablon olarak adlandırılmıştır. Metraj verilerinin eToolLCD aracına aktarımından sonra aracın şablonundan, aktarılan malzemelere uygun olarak veri seçimi yapılır. Bu seçim web sürümünde yapılır ve otomatik olarak gerçekleşmez. Kullanıcı her malzeme için şablondaki malzeme verileri arasından tek tek uygun olanını seçer. Araçta dünyadaki çeşitli yapı ve altyapı projeleriyle ilgili şablonlar da bulunmaktadır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan şablon verilerinin kaynağı güncel değildir, eski veriler kullanılmıştır.

- Aracın arayüz özellikleri:

Revit'in araca bağlantısı eklenti üzerinden olsa da LCA analizi web arayüzünde gerçekleşir. Revit modelinden aktarılan malzeme isimleri aracın web arayüzünde aynıdır. Bu da malzemeyi algılamayı kolaylaştırır. Sonuç raporları da web arayüzünde gözükmektedir. Tek bir arayüzde malzeme seçimleri ve sonuçlar elde edilmektedir. Veriler tekrardan düzenlenebilir ya da Revit modelinde değişen bir malzeme otomatik olarak web arayüzünde güncellenebilir. Aracın arayüzü genel olarak anlaşılır ve kullanımı kolaydır. Yapının çevresel etki ve sonuçlarının malzeme seçimi sırasında bir ön izlemesi yoktur. Malzeme alternatiflerinde tercih yapabilmek için çalışmayı sonuçlandırmak gerekir.

- Sonuç verileri:

Aracın sonuç alma aşaması, malzemelerin tüm girdi verileri tamamlandıktan sonra oldukça hızlıdır. Saniyeler içerisinde PDF ve Excel formatında elde edilir. Web sayfasında yer alan LCA sonuçları isteğe bağlı olarak PDF ve Excel formatında ondalık ve bilimsel sayı olarak elde edilir. Grafiksel veriler ise web sayfasında ve LCA raporlarında elde edilmektedir. Ayrıca web sayfasında grafiksel gösterimler çevresel etki kategorilerine göre değiştirilebilir.

Sonuç raporunda veriler ayrıntılı olarak ele alınır. Birçok grafiksel veri, çalışmanın amacı, kapsamı, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi, ayrıntılı analizler raporda yer almaktadır. Ayrıca üç farklı taşıyıcı sistemden elde edilen sonuçlar eToolLCD aracında başlığı altında karşılaştırılmıştır. Bu özellik sayesinde tek sayfa üzerinde birden fazla alternatifin verileri incelenip yorumlanabilir.

- Analiz kapsamı:

Sonuçların süreç olarak kapsamını incelediğimizde A1-A3 üretim süreci, A4 ulaşım süreci, A5 inşaat kurulum süreci, B1-B5 kullanım süreci, B6-B7 operasyonel enerji ve su kullanımı süreci, C1-C4 yaşam sonu süreci ve son olarak D yeniden kullanım, geri dönüşüm süreci ele alınmıştır. Özetle tüm yaşam döngüsü süreçleri ele alınmaktadır.

Sonuçların çevresel etkileri ve enerji kategorilerine baktığımızda ise küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon, ozon tabakasının incilmesi, fotokimyasal ozon oluşturma, fosil olmayan kaynaklar için abiyotik tükenme, fosil kaynaklar için abiyotik tükenme, yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanımı, yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının enerji kaynağı olarak kullanımı, yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının toplam kullanımı, yenilenemeyen birincil enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanımı, yenilenemeyen birincil enerji kaynaklarının enerji kaynağı olarak kullanımı, yenilenemeyen birincil enerji kaynaklarının toplam kullanımı, arazi kullanımı gibi bir çok etki kategori sonuçları elde edilmektedir.

4.3.5. SURAP Aracının Kullanımı, Gömülü Enerji Değerleri ve Aracın Değerlendirilmesi

Bu bölümde LCA hesaplamasında SURAP aracının kullanım aşamalarına değinilmiştir. Oluşturulan taşıyıcı sistemlerin SURAP aracıyla hesaplanmış gömülü enerji sonuçlarının karşılaştırmaları yapılmıştır. Enerji sonuçları yorumlandıktan sonra SURAP aracı, kullanım ve LCA analizleri ışığında değerlendirilmiştir.

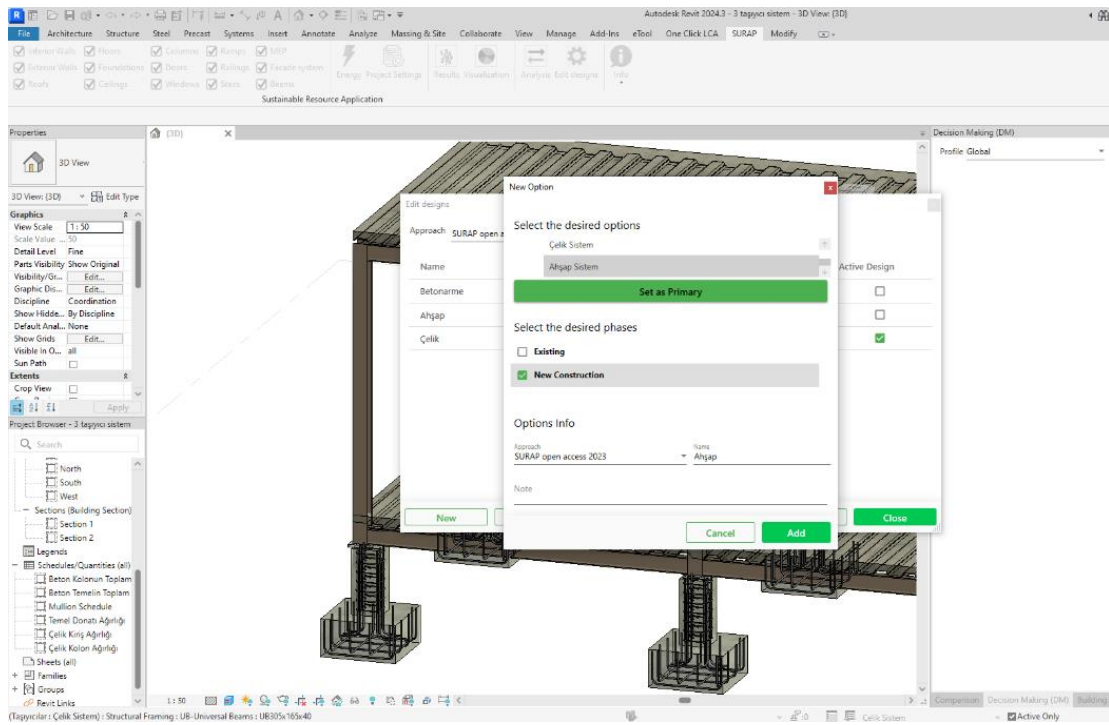
4.3.5.1 SURAP Aracının Kullanımı

SURAP aracının çalışma prensibi genel hatlarıyla şu şekildedir; Revit ortamında oluşturulan modeldeki malzeme metraj verileri SURAP eklentisine otomatik olarak aktarılır. Daha sonra SURAP aracındaki veri tabanından, aktarılan malzemelere uygun veriler tanımlanır. Tüm malzemeler için veriler seçildikten sonra tek tuşla LCA sonuçları elde edilir. Aşağıda bu aşamalar, çalışmada oluşturulmuş modeller üzerinden daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

LCA analizinin yapılabilmesi için öncelikle SURAP web sürümünden bir hesap açılır. Daha sonra Autodesk sitesinden SURAP aracı indirilir. İndirilen araç Revit

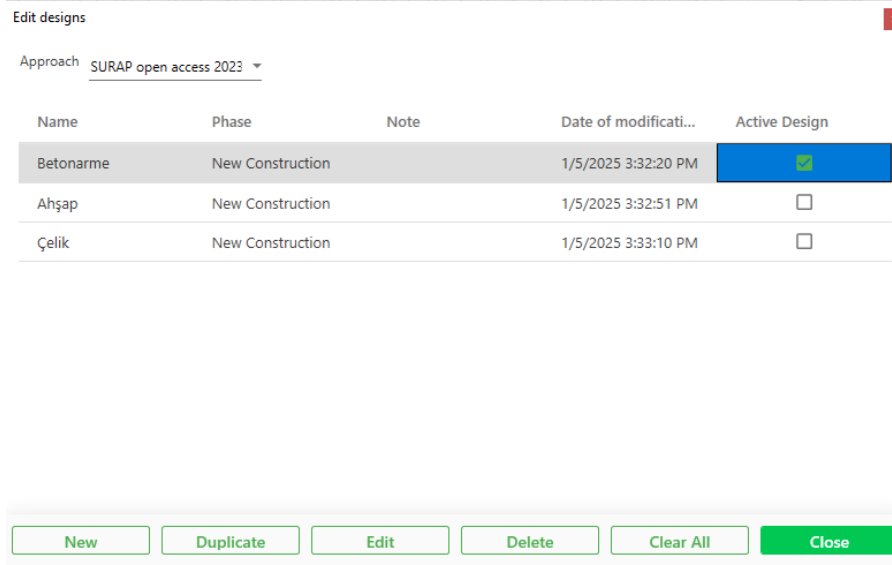
yazılımında şerit menünün üst başlığında yer alır. Aracın kullanımına başlamadan önce Revit'te LCA analizinin yapılacağı yapılar modellenir. Tally aracında olduğu gibi bu çalışmada da üç taşıyıcı model aynı Revit dosyasında modellenmiştir ve bu modellerin LCA analizi kıyasının yapılabilmesi için Revit'in tasarım seçeneği özelliğiyle modeller üç farklı seçenek haline getirilmiştir.

Modellemelerden sonra LCA analizi için öncelikle Revit'te üç farklı tasarım seçeneği haline getirilen modeller SURAP aracında tanımlanır. Bunun için Revit'in SURAP başlığı altındaki 'Edit designs' sekmesine tıklanır ve bu başlıkta her tasarım seçeneği isimlendirilir ve bu seçeneklerin değerlendirilecek aşamaları ve değerlendirme yaklaşımları seçilir **Şekil 4.27**.



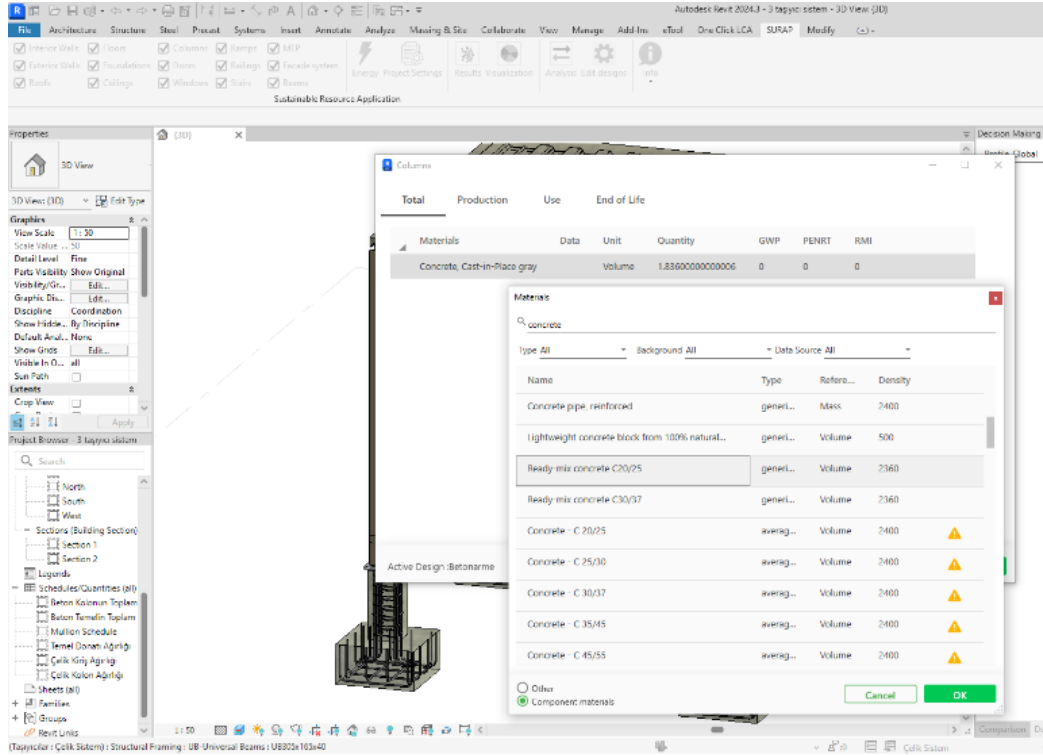
Şekil 4.27: Tasarım seçeneklerinin SURAP'ta tanımlanması.

Tasarım seçeneklerinin SURAP'ta tanımlanmasından sonra her taşıyıcı sistem için veri tabanından malzeme verileri seçilir. Malzeme verilerini seçmeden önce tasarım seçenekleri aktif tasarım haline getirilir. Örneğin betonarme taşıyıcı olan tasarım seçeneğini aktif tasarım haline getirmek için 'Edit designs' sekmesinde betonarme başlığındaki aktif tasarım kutusu işaretlenir ve bu adımdan sonra malzeme verileri seçilir **Şekil 4.28**. Bu işlem diğer tasarım seçenekleri için de yapılır.



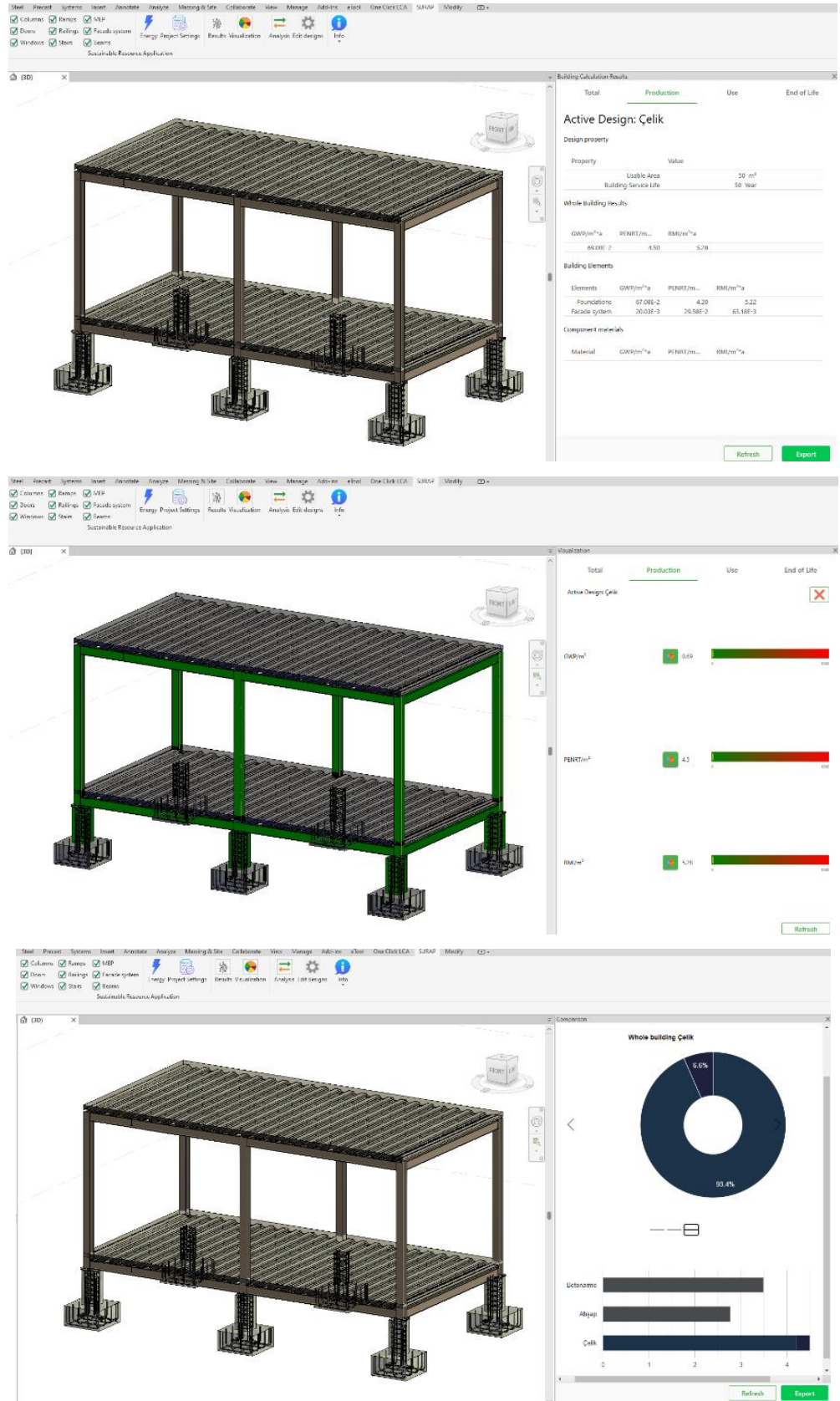
Şekil 4.28: Malzeme verilerinin seçiminden önce tasarım seçeneklerinin aktifleşmesi.

Aktif hale getirilen tasarım seçeneğinin malzeme katmanlarını görebilmek için SURAP başlığı altındaki bileşenlere tıklanır. Malzemeler SURAP başlığı altında bileşenler halinde ayrılmıştır. Malzeme verilerini seçmek için bir bileşene tıklanır ve açılan sayfada malzeme seçimi yapılır **Şekil 4.29**. Malzeme verilerinin seçimi çalışma kapsamına bağlı olarak her bileşen ya da istenilen bileşen için yapılır.



Şekil 4.29: Malzeme verilerinin seçimi.

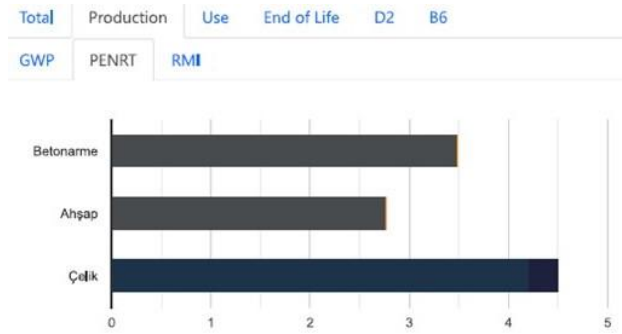
Malzeme seçiminden sonra SURAP başlığı altındaki ‘Results’ sekmesine tıklanarak sayısal değerler elde edilir. ‘Visualization’ sekmesine tıklanarak üç boyutlu model üzerinde hangi bileşenin en yüksek çevresel etkiye sahip olduğu renklerle ifade edilir. ‘Analysis’ sekmesine tıklanarak da analizi yapılan tasarım modellerinin sonuçları grafiksel olarak karşılaştırılır **Şekil 4.30**.



Şekil 4.30: Sonuçları görüntüleme.

4.3.5.2 Taşıyıcı Sistemlerin SURAP Aracıyla Elde Edilen Gömülü Enerji Değerleri

SURAP aracının LCA analizinde çevresel etki ve enerji sonuçları elde edilmiştir. Fakat çalışma kapsamı gömülü enerji ve üretim aşaması (A1-A3) olduğu için taşıyıcı sistemler bu kapsamda ele alınmıştır. Çalışmada deneme sürümü kullanıldığı için malzeme verileri kısıtlıdır. Bundan dolayı sadece döşeme verileri ele alınmıştır ve sonuçlar döşemede kullanılan malzemeler üzerinden elde edilmiştir. Sonuçlar Excel formatında sayısal veri olarak tablolastırılmıştır. Grafikselleştirilmiş veriler Revit arayüzündedir. Araçta tasarım seçeneklerinin etki kategorilerini karşılaştırma özelliği sayesinde üç taşıyıcı sistemin üretim aşamasındaki yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanım değerleri karşılaştırılmıştır **Şekil 4.31**. A1-A3 sürecindeki enerji kıyaslamalarına baktığımızda manuel hesaplamada olduğu gibi, en yüksek enerji tüketimi çelik taşıyıcı sistemdeki görülmektedir. Sonra sırasıyla betonarme ve ahşap taşıyıcı sistemler takip etmektedir.



Şekil 4.31: SURAP’la elde edilen enerji değerlerinin karşılaştırılması.

Enerji değerleri tek başlıkta sonuçlanmıştır; yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımını **Tablo 4.12**. SURAP aracında sonuçlar rapor olarak elde edilmemiştir.

Tablo 4.12: Taşıyıcı sistemlerin SURAP aracıyla elde edilen gömülü enerji değeri.

A1-A3 süreci için	Betonarme Döşeme	Kompozit Döşeme	Ahşap Döşeme
Yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımı (PENRT)	8746,44 MJ	11255,16 MJ	6908,33 MJ

4.3.5.3 SURAP Aracının Değerlendirilmesi

SURAP aracının ücretli sürümü bulunmaktadır fakat çalışmada ücretsiz deneme sürümü kullanılmıştır ve değerlendirme, deneme sürümüne göre yapılmıştır. Ücretli sürümde süreç ve sonuçlardaki kapsam farklı olabilir. SURAP aracı, beş başlık altında değerlendirilmiştir: metraj verilerinin araca aktarımı, araçtaki veri tabanı özellikleri, aracın arayüz özellikleri, sonuç verileri ve analiz kapsamı. Bu başlıklar aracın kullanım süreci ve LCA sonuçları ışığında oluşturulmuştur.

- Metraj verilerinin araca aktarımı:
Revit'te oluşturulan modelin malzeme metraj verileri SURAP aracına otomatik olarak aktarılır. Aracın bu özelliği zaman kaybını azaltır. Ayrıca isteğe bağlı olarak tüm model metrajı ya da birden fazla modellerin metrajı araca aktarılabilir. Revit modelinde değiştirilen bir malzemenin metraj verisi de araca otomatik olarak aktarılır. Böylece erken tasarım aşamalarında malzeme alternatifleri söz konusu olduğunda araç ile zaman kaybı olmaksızın malzemelerin enerji verilerinin kıyasıyla malzeme tercihi yapılabilir.
- Veri tabanı özellikleri:
Metraj verilerinin araca aktarımından sonra araçtaki veri tabanından, aktarılan malzemelere uygun olarak veri seçimi gerçekleştirilir. Bu seçim otomatik olarak gerçekleşmez. Kullanıcı her malzeme için veri tabanındaki malzeme verileri arasından tek tek uygun olanını seçer. Malzeme verileri GaBi ve Ecoinvent veri tabanından alınır. Ayrıca kullanıcı manuel bir veri girişi de yapamamaktadır. Bu durum sonuçların yaklaşık değerler olarak elde edilmesine neden olur.
- Aracın arayüz özellikleri:
Revit içerisinde bir eklenti olan aracın arayüzünün kullanımı kolay ve anlaşılırdır. LCA analizi Revit içerisinde yapılır. Başka bir sayfaya ihtiyaç duyulmaz. SURAP'ın web sürümü de bulunmaktadır. Fakat çalışma Revit eklentisinde yapılmıştır.
Aracın arayüzünde tespit edilen bir durum da verileri eklenen malzemelerin, çevresel etki ve enerji değerlerinin bir ön izlemesinin olmasıdır. Örneğin veri tabanından malzeme verisi eklenen ahşap bir döşemenin enerji sonucu aracın arayüzünde gösterilmektedir. Kullanıcının enerji verisini elde etmesi için

çalışmanın sonuçlanmasına gerek yoktur. Bu durum malzeme alternatiflerinin kıyaslanmasında kolaylık sağlar. Örneğin enerji kıyası yapılacak olan a ve b alternatifli malzemelerin enerji verileri tek seferde ve tek sayfada elde edilir.

- Sonuç verileri:

Aracın sonuç alma aşaması, malzemelerin tüm girdi verileri tamamlandıktan sonra oldukça hızlıdır. Saniyeler içerisinde Revit arayüzünde ve Excel formatında elde edilir.

Çalışmada birden fazla model değerlendirilmiştir ve sonuçlar karşılaştırmalı grafik olarak Revit arayüzünde sonuçlanmıştır. Bu karşılaştırmalı sonuçlar yapının üretim, kullanım gibi aşamalar özelinde değerlendirilmiştir. Excel formatında ise her aşamanın verileri tablolarda sayısal değerlerle ifade edilmiştir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlardaki bir diğer özellik üç boyutlu model üzerinde hangi bileşenin en yüksek çevresel etkiye sahip olduğunun renklerle ifade edilmesidir.

- Analiz kapsamı:

Sonuçların süreç olarak kapsamını incelediğimizde A1-A3 üretim süreci, kullanım süreci, B6 operasyonel enerji kullanım süreci, yaşam sonu süreci ele alınmıştır. Ücretli sürümde daha fazla süreç ele alınmaktadır.

Sonuçların çevresel etkileri ve enerji kategorilerine baktığımızda ise küresel ısınma, yenilenemeyen birincil enerji kaynaklarının toplam kullanımı ve ham madde girişi başlıkları yer almaktadır. Ücretli sürümde daha fazla çevresel etki ve enerji kategorileri ele alınmaktadır.

4.4. Tally, One Click LCA, eToolLCD ve SURAP Araçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında üç farklı taşıyıcı sistem (ahşap, betonarme, çelik) modeli Revit'te modellenmiştir. Oluşturulan modellerin gömülü enerji değerlendirmeleri Tally, One Click LCA, eToolLCD ve SURAP araçlarında yapılmıştır. Kullanım süreci ve sonuç verilerinden yola çıkarak araçlar tek tek değerlendirilmiştir. Daha sonra araçlar ve yapılan değerlendirmeler başlıklara ayrılarak tablolastırılmıştır. Her araç için bu başlıklardan uygun olan özellikler işaretlenmiştir. Değerlendirme sonucu elde edilen bu başlıklar metraj verilerinin araca aktarımı, aracın veri tabanı özellikleri, arayüz özellikleri, sonuç verileri ve analiz kapsamı olarak ele alınmıştır **Tablo 4.13**.

Tablo 4.13: Tally, One Click LCA, eToolLCD ve SURAP araçlarının kullanım süreçleri ve sonuç verileri kapsamında karşılaştırılması.

	Tally	One Click LCA	eToolLCD	SURAP
Metraj verilerinin araca aktarımı				
Tek Revit dosyasında birden fazla model değerlendirme	+	-	-	+
Metraj verilerinin araca otomatik aktarımı	+	+	+	+
İstenilen bir yapı elemanı metrajının araca aktarımı	+	+	-	-
Revit'te değişen malzeme verilerinin araca otomatik aktarımı	+	+	+	+
Aracın veri tabanı özellikleri				
Verilerin malzemelerle otomatik eşleşmesi	-	+	-	-
Araca manuel veri girebilme	-	-	-	-
Birden fazla veri tabanının bulunması	-	+	+	+
Türkiye'ye ait malzeme verilerinin bulunması	-	+	-	-
Aracın arayüz özellikleri				
Analizin Revit içerisindeki eklenti arayüzünde olması	+	+	-	+
Arayüz içeriğinin anlaşılır olması	+	-	+	+
Veri seçimi yapılan malzemelerin enerji değerlerinin bir ön izlemesi (Sonuca gitmeden)	-	-	-	+
Malzeme verilerinin tek sayfada düzenlenmesi	-	+	+	-
Aktarılan malzeme isimlerinin araç içinde anlaşılabilirliği	+	-	+	+
Sonuçlanan çalışmadaki malzeme verilerinin düzenlenebilir olması	+	+	+	+
Sonuç verileri				
Sonuçların grafiksel gösterimi	+	+	+	+
Sonuçların sayısal verilerle elde edilmesi	+	+	+	+
Sonuçların PDF formatında olması	+	+	+	-

Tablo 4.13: Tally, One Click LCA, eToolLCD ve SURAP araçlarının kullanım süreçleri ve sonuç verileri kapsamında karşılaştırılması.

Sonuçların Excel formatında olması	+	+	+	+
Birden fazla modelin LCA sonuçlarının karşılaştırmalı olarak elde edilmesi	+	+	+	+
Sonuçların araç arayüzünde gösterimi	-	+	+	+
Analiz kapsamı				
A1-A3 üretim sürecinin değerlendirilmesi	+	+	+	+
A4-A5 ulaşım ve inşaat kurulum sürecinin değerlendirilmesi	+	+	+	+
B1 kullanım sürecinin değerlendirilmesi	-	+	+	-
B2 bakım sürecinin değerlendirilmesi	+	-	+	-
B3 onarım sürecinin değerlendirilmesi	+	+	+	-
B4 yenisiyle değiştirme sürecinin değerlendirilmesi	+	+	+	+
B5 yenileme sürecinin değerlendirilmesi	+	+	+	-
B6 operasyonel enerji kullanımı sürecinin değerlendirilmesi	+	+	+	+
B7 operasyonel su kullanımı sürecinin değerlendirilmesi	-	+	+	-
C1 yapı söküm sürecinin değerlendirilmesi	-	+	+	+
C2-C4 ulaşım, atık işleme, imha etme sürecinin değerlendirilmesi	+	+	+	+
D geri dönüşüm sürecinin değerlendirilmesi	+	+	+	+

Tablo 4.13: Tally, One Click LCA, eToolLCD ve SURAP araçlarının kullanım süreçleri ve sonuç verileri kapsamında karşılaştırılması.

Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADPF)	-	+	+	+
Birincil enerjinin toplam kullanımı (ham madde hariç)	-	+	-	-
Yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanımı (PERM)	-	+	+	-
Yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının enerji kaynağı olarak kullanımı (PERE)	-	-	+	-
Yenilenebilir enerji talebi / Yenilenebilir birincil enerjinin toplam kullanımı (PERT)	+	+	+	+
Yenilenemeyen birincil enerji kaynaklarının ham madde olarak kullanımı (PENRM)	-	-	+	-
Yenilenemeyen birincil enerji kaynaklarının enerji kaynağı olarak kullanımı (PENRE)	-	-	+	-
Yenilenemeyen enerji talebi / Yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımı (PENRT)	+	+	+	+
Birincil enerji talebi (PED)	+	-	-	-
	+(25)	+(31)	+(32)	+(24)

Karşılaştırma tablosundaki metraj verilerinin araca aktarımı, aracın veri tabanı özellikleri, arayüz özellikleri ve sonuç verileri araçların deneme ve öğrenci sürümüne göre değerlendirilmiştir. Analiz kapsamı ise ücretli sürümüne göre değerlendirilmiştir. Çünkü ücretli sürümlerde değerlendirilen kapsam değişmektedir ve daha fazladır. Karşılaştırma tablosunda, eToolLCD aracının 32 özelliği, One Click LCA aracının 31 özelliği, Tally aracının 25 özelliği ve SURAP aracının 24 özelliği olumlu

sonuçlanmıştır. Karşılaştırma tablosundan yola çıkarak yapılan değerlendirmeler şu şekildedir:

- SURAP aracının metraj verilerinin araca aktarım özellikleri iyi seviyededir. Aracın veri tabanı özellikleri diğer araçlara göre geliştirilmelidir. Çünkü elde edilen verilerin gerçeğe yakın olması kullanıcı tarafından tercih edilen bir özellik olacaktır. Aracın arayüz özellikleri diğer araçlara göre iyi seviyededir. Bu kullanıcılar için tercih sebebi olabilir. Sonuç verileri de iyi seviyededir. Son olarak analiz kapsamı diğer araçlara göre geliştirilmelidir. Çünkü kullanıcı ne kadar çok kapsam sonucuna ulaşılabilirse değerlendirmeyi daha ayrıntılı ve net sonuçlarla yapabilir.
- Tally aracının metraj verilerinin araca aktarım özellikleri diğer araçlara göre daha iyi seviyededir. Bu kullanıcılar için tercih sebebi olabilir. Aracın veri tabanı özellikleri diğer araçlara göre geliştirilmelidir. Aracın arayüz özellikleri ve sonuç verileri de iyi seviyededir. Analiz kapsamı ise diğer araçlara göre geliştirilmelidir.
- One Click LCA aracının metraj verilerinin araca aktarım özellikleri iyi seviyededir. Aracın veri tabanı özellikleri diğer araçlara göre daha iyi seviyededir. Bu kullanıcılar için tercih sebebi olabilir. Çünkü elde edilen değerler gerçeğe yakın çıkacaktır. Aracın arayüz özellikleri diğer araçlara göre geliştirilmelidir. Çünkü kullanıcı zaman kaybı yaşamadan, kullanımı kolay ve anlaşılır bir arayüzde analiz yapmak isteyecektir. Sonuç verileri de diğer araçlara göre iyi seviyededir. Son olarak analiz kapsamı da iyi seviyededir.
- eToolLCD aracının metraj verilerinin araca aktarım özellikleri diğer araçlara göre geliştirilmelidir. Çünkü kullanıcı analizin ilk aşamasında birden fazla sayfada işlem yaparak zaman kaybı yaşamak istemeyecektir. Aracın veri tabanı özellikleri diğer araçlara göre geliştirilmelidir. Aracın arayüz özellikleri iyi seviyededir. Son olarak sonuç verileri ve analiz kapsamı diğer araçlara göre iyi seviyededir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak eToolLCD, yapıların enerji analizi değerlendirmesinde kullanıcıların tercih edebileceği bir araçtır. Tally ve SURAP araçları ise veri tabanı ve analiz kapsamı yönünden geliştirilmelidir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada enerji tüketimi konusunda küresel anlamda büyük bir paya sahip olan yapıların, malzeme ya da yapım alternatiflerinin çeşitli araçlar yardımıyla değerlendirilerek en az tüketime sahip olanı tercih etme sürecinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesine yönelik bir yaklaşım benimsenmiştir.

Yapıların erken tasarım aşamalarında LCA analizleri yapılarak malzeme kaynaklı enerji tüketim miktarlarının hesaplanması malzeme seçimlerinin daha çevreci bir anlayışla yapılmasını sağlar. Malzeme kaynaklı enerji tüketim türlerinden olan gömülü enerji, operasyonel enerjiye göre hesaplanmasının zorluğu, karmaşıklığı ve zaman alıcı özelliğinden dolayı genellikle göz ardı edilmiştir. Aynı zamanda gömülü enerji, operasyonel enerjiye kıyasla daha az bir etkiye sahiptir. Fakat yapılan çalışmalarda operasyonel enerjiyi azaltmak amacıyla yapılan müdahalelerin toplam enerji tüketimini azalttığı, gömülü enerji tüketimini arttırdığı görülmüştür. Haliyle göz ardı edilen gömülü enerjinin önemi artmaktadır.

Bu çalışmada gömülü enerji hesaplamalarında kullanılan LCA metodolojisinin daha kolay, anlaşılır ve hızlı bir şekilde uygulanabileceği BIM tabanlı araçlar araştırılmış ve örnek bir proje üzerinde bu araçlar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye BIM tabanlı araçların olumlu ve geliştirilmesi gereken yönleri tespit edilmiştir.

Değerlendirme için aynı mimari projeye sahip, farklı taşıyıcı sistemler Revit ortamında modellenmiştir. Ardından manuel bir hesaplama yapılarak geleneksel BIM-LCA yaklaşımı ele alınmıştır. Daha sonra dinamik yaklaşım olarak adlandırılan BIM tabanlı araçlarda (SURAP, Tally, One Click LCA ve eToolLCD) LCA analizleri yapılmıştır. Dinamik yaklaşımın geleneksel yaklaşıma göre daha kullanışlı olduğu ve sonuçların daha hızlı elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca hesaplamalar sonucunda çelik taşıyıcı sistemin diğer taşıyıcılara göre üretim aşamasında en yüksek enerji tüketim değerine sahip olduğu sonucu elde edilmiştir. Araçların değerlendirmesinde ise kullanım süreçleri ve elde edilen sonuçlar kapsamında eToolLCD aracının diğer araçlara göre gömülü enerji hesaplamalarında daha avantajlı olduğu, Tally ve SURAP araçlarının ise veri tabanı ve analiz kapsamı yönünden geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Hesaplamalar için oluşturulan proje bir depo projesidir. Araçların değerlendirmesi de bu karmaşık olmayan proje üzerinden yapılmıştır. Daha büyük ve karmaşık projelerin gömülü enerji değerlendirmelerinde araçların kullanım süreçleri için bir değerlendirmede

bulunulursa, araçların veri tabanlarındaki malzeme seçim işlemleri karmaşık projelerde daha uzun sürer. Bunun nedeni daha fazla malzemenin kullanılmış olmasıdır. Fakat One Click LCA aracının otomatik malzeme seçimi özelliği bu sürecin uzamasını engeller. Böylece One Click LCA aracının büyük ve karmaşık projelerin gömülü enerji hesaplamalarında diğer araçlara göre daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Araçların veri tabanlarındaki malzeme verileri LCA sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Sonuçların gerçeğe yakın elde edilmesi için bölgeye ait envanter verileri üzerinden hesaplamalar yapmak gerekir. Fakat ülkemizde malzemelerin çevresel veri ve enerji tüketim bilgilerini içeren bir envanter eksikliği bulunmaktadır. Bu eksikliğin giderilmesi için bir yaşam döngüsü envanteri-veri tabanı oluşturulması önerilmektedir. BIM teknolojisinin LCA analizlerinin daha verimli ve sürdürülebilir olmasına katkıda bulunabileceği görülmektedir. Bu sebeple hem akademinin hem de inşaat sektörünün birlikte çalışmalar yürüterek BIM-LCA araçlarının sektöre uyum sağlaması önerilmektedir.

Literatür taraması ve BIM tabanlı araçların değerlendirilmesinden elde edilen verilere göre LCA analizlerinde BIM kullanımının, LCA sürecini daha hızlı ilerletmesine, karmaşık süreçlerin azalmasına, birden fazla projenin karşılaştırılmasına, erken tasarım süreçlerindeki malzeme alternatiflerinin değerlendirilmesine, hataların ve gecikmelerin azalmasında katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca değerlendirilen araçların geliştirilmesi ve iyileştirilmesi gereken yönlerinin belirlenmesinin ileride yapılacak BIM-LCA çalışmalarına ve akademik araştırmalara yön vereceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abd Rashid A. F., Yusoff S., (2015). A review of life cycle assessment method for building industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 244-248.
- AGC, (2008), “The Contractors Guide To BIM”, 1st Edition, AGC of America.
- Akipek, F. Ö., İnceoğlu, N., (2007). Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarlıktaki kullanımları. *Megaron Mimarlık Fakültesi E-Dergisi*, 2(4), 237-253.
- Akkoyunlu T., (2015), “Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı Önerisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Altınok D., (2020), “Yapı Bilgi Modelleme Yazılımları ile Kaba Yapı Elemanları Metrajı: Sorunlar ve Çözüm Önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Azari R., Abbasabadi N., (2018). Embodied energy of buildings: A review of data, methods, challenges, and research trends. *Energy and Buildings*, 168, 225-235.
- Azevedo V., (2014). BIM model analysis in the structural design perspective. *Engineering, Computer Science*, 1, 1049-001.
- Azhar S., (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and management in engineering*, 11(3), 241-252.
- Azhar S., Khalfan M., Maqsood T., (2012). Building information modeling (BIM): Now and Beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12(4), 15-28.
- Azhar S., Nadeem A., Mok J. Y., Leung B. H., (2008), “Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects”, 1st International Conference on Construction in Developing Countries, 435-446, Karachi, Pakistan, 4-5 August.
- Aziz R. M., Nasreldin T. I., Hashem O. M., (2024). The role of BIM as a lean tool in design phase. *Journal of Engineering and Applied Science*, 71(1), 23.
- Azkur H. S., Canan F., (2022). Farklı Taşıyıcı Sistemlerin Gömülü Enerji ve Gömülü Karbon Değerlerinin Müstakil Konutlar Bağlamında Karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 35-46.
- Basir W. N. F. W. A., Ujang U., Majid Z., (2023), “Adaptation 4D and 5D BIM for BIM/GIS Data Integration in Construction Project Management”, 1-12, International Graduate Conference of Built Environment and Surveying, Skudai, Malaysia, 17-18 September.
- Başyazıcı İ. U., (2020), “Türkiye BIM Raporu Genel Eğilim ve Beklentiler”, Bimgenius.

Bazjanac V., (2004), “Virtual Building Environments-Appling Information Modeling to Buildings”, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, CA, USA, 21 June.

Bovea M. D., Ibáñez-Forés V., Agustí-Juan I., (2014), “Environmental product declaration (EPD) labelling of construction and building materials”. In: F. Pacheco-Torgal, L. F. Cabeza, J. Labrincha, A. de Magalhães, Editors, “Eco-efficient construction and building materials”, Woodhead Publishing.

Braholli O., (2020), “Automated Procedures For LCA Analysis On A BIM Project”, Yüksek Lisans Tezi, Polytechnic University of Milan.

Caldart C. W., Scheer S., (2022). Construction site design planning using 4D BIM modeling. *Gestão & Produção*, 29, 1-21.

Carmona J., Irwin K., <https://www.facilitiesnet.com/software/article/BIM-who-what-how-and-why--7546>. Erişim Tarihi: 14.08.2024.

Chastas P., Theodosiou T., Bikas D., (2016). Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review. *Building and environment*, 105, 267-282.

Cheng J. C., Ma L. Y., (2013). A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. *Waste management*, 33(6), 1539-1551.

Criminale A., Langar S., (2017), “Challenges with BIM implementation: a review of literature”, 53rd ASC annual international conference proceedings, 329-335, Washington, America, 5-8 April.

Curran M. A., (2006), “Life-cycle assessment: Principles and Practice”, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.

Çamurcu A. G., (2022), “Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ile İnşaat Güvenliğinin Sağlanmasına Yönelik Uygulamaların İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.

Dalla Mora T., Bolzonello E., Peron F., Carbonari A., (2018), “Integration of LCA tools in BIM toward a regenerative design”, Smart and Healthy within the Two-Degree Limit: Proceedings of the 34th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 341-346, Hong Kong, China, 10-12 December.

Davtalaba O., Delgadob J. L., (2014). Benefits of 6D BIM for facilities management departments for construction projects—a case study approach. *Engineering*.

Demirer G. N., <https://rec.org.tr/wp-content/uploads/2017/02/yda.pdf>. Erişim Tarihi: 06.12.2024.

Dervishaj A., Gudmundsson K. (2024). From LCA to circular design: A comparative study of digital tools for the built environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 200, 107291.

Ding L., Zhou Y., Akinici B. (2014). Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *Automation in construction*, 46, 82-93.

Dodge Data & Analytics, (2014), “The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors Around the World Are Driving Innovation With Building Information Modeling”, McGraw Hill.

Dönmezer M. A., (2022). Tümüleşik Proje Teslim Yönteminde Erken Evreden İtibaren BIM Kullanımının (IPD/BIM) Verimlilik ve Birlikte Çalışma Üzerine Etkileri. *Yapı Bilgi Modelleme*, 3(2), 86-94.

Duru M. O., Koç İ., (2021). Sürdürülebilir Yapı Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) Hesaplamalarının Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ile Entegrasyonuna Yönelik Bir Araştırma. *STAR Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 107-121.

Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., (2011), “BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors”. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc.

EN. (2012). EN 15804: 2012. *Sustainability of construction works-Environmental product declarations-Core rules for the product category of construction products*.

Erdik M., (2018), “Yapı Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Adaptasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi.

Erdik M., Gökuç Y. T., (2020). Türk yapı sektöründe yapı bilgi modellemesinin adaptasyonu. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 159-171.

Ertaş D., (2022), “Binalarda BIM-Lazer Tarama Entegrasyonlu Boyutsal Kalite Kontrolü Üzerinde Bir Alan Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi.

Fay R., Treloar G., Iyer-Raniga U., (2000). Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. *Building Research & Information*, 28(1), 31-41.

Glick S., Guggemos A., (2009), “IPD and BIM: Benefits and Opportunities for Regulatory Agencies”. 45th Associated Schools of Construction National Conference, Gainesville, 2-4 April.

Göktürk İ., (2007), “İnşaat Sektöründe Fizibilite Aşamasında Maliyet Tahmini Yapmakta Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir Değerlendirme”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Gültekin A. B., Çelebi G., (2016). Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi. *Düzce Üniversitesi Bilim Teknoloji Dergisi*, 4(1), 1-36.

Hamil S., <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-cobie>. Erişim Tarihi: 18.11.2024

Hozatlı B., (2013), “Muğla İli Koşullarında Betonarme ve Ahşap Malzemeli Binaların Yaşam Döngüsü Analizi”, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi.

Ibrahim H. S., Hashim N., Jamal K. A. A., (2019), “The potential benefits of building information modelling (BIM) in construction industry”, 4th International Conference on Research Methodology for Built Environment and Engineering, Chulalongkorn University, Malaysia, 24-25 April.

ISO. (2006). ISO 14040: 2006. *Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework*. International Organization for Standardization.

ISO. (2006). ISO 14044: 2006. *Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines*. International Organization for Standardization.

Issa R. R., Olbina S., (2015), “Building Information Modeling: Applications and Practices”, American Society of Civil Engineers.

Jensen A. A., Hoffman L., Moller B., Schmit A., Christiansen K., Elkington J., Dijk F. V., (1997), “Life Cycle Assessment, A Guide To Approaches, Experiences and Information Sources”, European Environment Agency, Denmark.

Kaewunruen S., Sresakoolchai J., Zhou Z., (2020). Sustainability-based lifecycle management for bridge infrastructure using 6D BIM. *Sustainability*, 12(6), 2436.

Karaman Öztaş S., (2014), “Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Karaman Öztaş S., Tanaçan L., (2017). Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Geliştirilen Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Modelinin Sınanması. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(2), 65-76.

Karimpour M., Belusko M., Xing K., Bruno F., (2014). Minimising the life cycle energy of buildings: Review and analysis. *Building and environment*, 73, 106-114.

Kekhia A., <https://www.slideshare.net/slideshow/introduction-to-building-information-modeling/49779922>. Erişim Tarihi: 30.08.2024

Khosrowshahi F., Arayici Y., (2012). Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry. *Engineering, construction and architectural management*, 19(6), 610-635.

Koç E., Kaya K., (2015). Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.

Koç İ., Duru M. O., Dinçer S. G., (2022). Yapılarda Gömülü ve Kullanım Enerjisi Kavramlarının Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) Metodolojisiyle İrdelenmesi. *Bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design*, 3(1), 55-69.

Koşan N. S., Beyhan F., (2024), “A Research on Determination of Database and Software Tool in Life Cycle Assessment (LCA) Method: The Sample of Turkish Building Industry”, 7th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism, 346-354, Alanya, Antalya, Türkiye, 23-24 May.

Kuytan E., (2021), “Yapı Bilgi Modellemesinin (YBM) İnşaat Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.

Li L., Yuan J., Tang M., Xu Z., Xu W., Cheng Y., (2021). Developing a BIM-enabled building lifecycle management system for owners: Architecture and case scenario. *Automation in Construction*, 129, 103814.

Liao Z., (2022), “A study of the classification and main functions of BIM software”, 3rd International Conference on Mechanical Engineering, Civil Engineering and Material Engineering, 230-238, Shenyang City, China, 13-14 August.

Logothetis S., Delinasiou A., Stylianidis E., (2015), “Building information modelling for cultural heritage: a review”, 25th International CIPA Symposium, 177-183, Taipei, Taiwan, 31 August-04 September.

Masood R., Kharal M. K. N., Nasir A. R., (2014). Is BIM adoption advantageous for construction industry of Pakistan?. *Procedia Engineering*, 77, 229-238.

McGraw Hill, (2012), “The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings”, McGraw Hill.

McGraw Hill, (2014), “The Business Value of BIM for Owners”, McGraw Hill.

Meng Q., Zhang Y., Li Z., Shi W., Wang J., Sun Y., Xu L., Wang X., (2020). A review of integrated applications of BIM and related technologies in whole building life cycle. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(8), 1647-1677.

Migilinskas D., Popov V., Juocevicius V., Ustinovichius L., (2013). The benefits, obstacles and problems of practical BIM implementation. *Procedia engineering*, 57, 767-774.

Naghshbandi S. N., (2016). BIM for facility management: challenges and research gaps. *Civil Engineering Journal*, 2(12), 679-684.

Ofluoğlu S., (2014). Bina Yaşam Döngüsünde BIM Uygulamaları. *Mimar Sinan University, Faculty of Fine Arts, Department of Informatics*, 26-27.

Ofluoğlu S., (2016), “Gün Işığ/ Doğal Işık Analizi”, http://www.sayisalmimar.com/dersnotlari/revit/revit_05_gunesisigi.pdf.

Olsen D., Taylor J. M., (2017). Quantity take-off using building information modeling (BIM), and its limiting factors. *Procedia Engineering*, 196, 1098-1105.

Öktem S., (2016), “BIM'e Geçiş Sürecinin Organizasyonel ve Operasyonel Çerçevesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Özorhon B., (2018), “Yapı Bilgi Modellemesi IBB Anadolu Yakası Raylı Sistem Projeleri”, 1. Baskı, Abaküs Yayınları.

Parekh R., Trabucco D., (2024). Recent progress in integrating BIM and LCA for sustainable construction: A Review. *International Journal of Science and Research Archive*, 13(1), 907-932.

Paul S., https://geospatialworld.net/article/bim-adoption-around-the-world-how-good-are-we/?_lrsc=e3055ad8-9d47-436e-a0d3-. Erişim Tarihi: 21.08.2024

Pryshlakivsky J., Searcy C., (2013). Fifteen years of ISO 14040: a review. *Journal of Cleaner Production*, 57, 115-123.

Quirk V., <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>. Erişim Tarihi: 21.08.2024

Ramesh T., Prakash R., Shukla K. K., (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and buildings*, 42(10), 1592-1600.

Reap J., Roman F., Duncan S., Bras, B., (2008). A survey of unresolved problems in life cycle assessment: Part 1: goal and scope and inventory analysis. *The international journal of life cycle assessment*, 13, 290-300.

Resalati S., Okoroafor T., Henshall P., Simões N., Gonçalves M., Alam M., (2021). Comparative life cycle assessment of different vacuum insulation panel core materials using a cradle to gate approach. *Building and Environment*, 188, 107501.

Sacks R., Dave B., Koskela L., Owen R. B., (2009), “Analysis framework for the interaction between lean construction and building information modelling”, 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 221-234, Taipei, Taiwan, 15-17 July.

Safari K., AzariJafari H., (2021). Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: Methodological choices and framework development. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102728.

Sami A., Abd A. M., Mahmood M., (2021). Adopting BIM at Design Phase for Structural Buildings. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 14(3), 23-35.

Sampaio A. Z., Gomes A. M., (2022). Professional one-day training course in BIM: A practice overview of multi-applicability in Construction. *Journal of Software Engineering and Applications*, 15(5), 131-149.

Sartori T., Drogemuller R., Omrani S., Lamari F., (2021). A schematic framework for life cycle assessment (LCA) and green building rating system (GBRS). *Journal of Building Engineering*, 38, 102180.

Sattineni A., Macdonald J. A., (2014), “5D-BIM: A case study of an implementation strategy in the construction industry”, The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, 361-367, Sydney, Australia.

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

Sharma A., Saxena A., Sethi M., Shree V., (2011). Life cycle assessment of buildings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 871-875.

Shemery A., Hampson K., Wu P., Mohamed S., Thomson G., Hitchcock D., (2019), “Using BIM for ongoing Building Operations throughout a Building’s Lifecycle”, CIB World Building Congress, Hong Kong, 17-21 June.

Simonen K., (2014), “Life Cycle Assessment”, 1st Edition, Routledge.

Smith P., (2014a). BIM implementation–global strategies. *Procedia engineering*, 85, 482-492.

Smith P., (2014b). BIM & the 5D project cost manager. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119, 475-484.

Şimşek O., (2020), “İnşaat Projelerinde İleri Teknoloji Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi.

Tam V. W., Zhou Y., Shen L., Le K. N., (2023). Optimal BIM and LCA integration approach for embodied environmental impact assessment. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135605.

Taşlı Pektaş Ş., (2001). What does computer aided design offer for producing livable buildings in the 21st century?. *ResearchGate*.

Taşlı Pektaş Ş., (2008). Mimarlıkta yapı bilgi modellemesi uygulamaları. *Mimarlık Dergisi*, (346).

Taygun G. T., Balanlı, A., (2005). Yaşam Döngüsü Süreçlerinde Yapı Ürünü-Çevre Etkileşimi. *Megaron YTÜ Mim. Fak. e-Dergisi*, 1(1), 40-50.

Tel M. Z., (2021), “BIM Uygulamalarının Mevzuat ve Yasal Çerçevesi- Ulusal Değerlendirme”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Medipol Üniversitesi.

Topal N., (2019), “İnşaat Projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi Uygulamaları: 5D Modelleme ile Örnek Vaka Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi.

Uzun F., (2019), “BIM- Yapı Bilgi Modellemesi Geçiş ve Uygulama Süreçlerinin İncelenmesi: 3 Vaka Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi.

Vigon B. W., Tolle D. A., Cornaby B. W., Latham H. C., (1993), “Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles”, EPA.

Wastiels L., Decuyper R., (2019), “Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies”, Sustainable Built Environment Conference, 1-8, Graz, Austria, 11-14 September.

Web 1, (2024), <https://www.wbdg.org/bim>, (Erişim Tarihi: 14/08/2024).

Web 2, (2018), <https://bimaplus.org/news/the-very-beginning-of-the-digital-representation-ivan-sutherland-sketchpad/>, (Erişim Tarihi: 21/08/2024).

Web 3, (2024), <https://www.ifma.org/about/what-is-fm/>, (Erişim Tarihi: 29/08/2024).

Web 4, (2024), <https://www.swg.com/blog/how-does-bim-benefit-facilities-managers/>, (Erişim Tarihi: 29/08/2024).

Web 5, (2024), <https://www.linkedin.com/pulse/importance-bim-dimensions-modern-day-construction-methodologies>, (Erişim Tarihi: 04/09/2024).

Web 6, (2024), <https://www.tekla.com/>, (Erişim Tarihi: 04/09/2024).

Web 7, (2024), <https://biblus.accasoftware.com/en/8d-bim-what-is-it-and-what-are-its-benefits/>, (Erişim Tarihi: 04/09/2024).

Web 8, (2024), <https://www.united-bim.com/bim-maturity-levels-explained-level-0-1-2-3/>, (Erişim Tarihi: 20/11/2024).

Web 9, (2024), <https://catenda.com/glossary/bim-levels/>, (Erişim Tarihi: 20/11/2024).

Web 10, (2024), <https://biblus.accasoftware.com/en/ifc-format-and-open-bim-all-you-need-to-know/>, (Erişim Tarihi: 18/10/2024).

Web 11, (2021), <https://yazilim3d.com.tr/ifc-nedir/>, (Erişim Tarihi: 18/10/2024).

Web 12, (2016), <https://www.linkedin.com/pulse/definition-clash-detection-how-bim-useful-rajib-dey>, (Erişim Tarihi: 19/10/2024).

Web 13, (2019), <https://www.bimteknoloji.com/fikir/model-tanim-duzeyi-lod-level-of-development/>, (Erişim Tarihi: 10/11/2024).

Web 14, (2023), <https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/>, (Erişim Tarihi: 10/11/2024).

- Web 15, (2007), https://info.aia.org/siteobjects/files/ipd_guide_2007.pdf, (Erişim Tarihi: 19/11/2024).
- Web 16, (2024), <https://www.nibs.org/nbims/v3/cobie#COBie7.9>, (Erişim Tarihi: 18/11/2024).
- Web 17, (2019), <https://www.bimteknoloji.com/fikir/metraj-ve-bim/>, (Erişim Tarihi: 18/11/2024).
- Web 18, (2024), <https://graphisoft.com/solutions/archicad/#design>, (Erişim Tarihi: 02/12/2024).
- Web 19, (2020), <https://www.bimteknoloji.com/fikir/bim-yazilimleri-hangileridir/>, (Erişim Tarihi: 02/12/2024).
- Web 20, (2024), <https://oneclicklca.com/en/resources/articles/guide-to-epds>, (Erişim Tarihi: 09/12/2024).
- Web 21, (2024), <https://choosetally.com/methods/>, (Erişim Tarihi: 15/12/2024).
- Web 22, (2014), <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Performing-Lifecycle-Assessment-Within-Revit-Model-2014#handout>, (Erişim Tarihi: 15/12/2024).
- Web 23, (2024), <https://oneclicklca.com/company/about-us>, (Erişim Tarihi: 16/12/2024).
- Web 24, (2024), <https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=3065869958781255107&appLang=en&os=Win64>, (Erişim Tarihi: 16/12/2024).
- Web 25, (2024), <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015064999-Life-Cycle-Stages>, (Erişim Tarihi: 16/12/2024).
- Web 26, (2024), <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015036980-Impact-Assessment-Categories-CML-TRACI-and-PEF>, (Erişim Tarihi: 16/12/2024).
- Web 27, (2024), <https://oneclicklca.com/resources/bim-and-lca-autodesk-revit-oneclicklca-integration-guide>, (Erişim Tarihi: 16/12/2024).
- Web 28, (2024), <https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=3443007469439044512&appLang=en&os=Win64>, (Erişim Tarihi: 17/12/2024).
- Web 29, (2024), <https://support.etoollcd.com/index.php/frequently-asked-questions/>, (Erişim Tarihi: 17/12/2024).
- Web 30, (2024), <https://cerclos.com/products/etool/features/>, (Erişim Tarihi: 17/12/2024).

Web 31, (2024), <https://apps.autodesk.com/en/Publisher/PublisherHomepage?ID=S2B2M45BRBGMZNDY>, (Erişim Tarihi: 17/12/2024).

Web 32, (2024), <https://usermanual.suraptools.de/docs/lca-methods-and-data/surap-lca-approaches/>, (Erişim Tarihi: 17/12/2024).

Web 33, (2024), https://www.surap.de/revit_lca_plugin_trial/, (Erişim Tarihi: 17/12/2024).

Web 34, (2024), <https://web.itu.edu.tr/kimence/bolum1.pdf>, (Erişim Tarihi: 20/12/2024).

Weidema B. P. W. H., Wenzel H., Petersen C., Hansen K., (2004). The product, functional unit and reference flows in LCA. *Environmental News*, 70, 1-46.

Yaman H., İlhan B., (2010), “İnşaat Sektöründe Bina Enformasyonu Modellemesi Kavramına Genel Bir Bakış”, 1. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 962-976, Ankara, Türkiye, 29 Eylül-1 Ekim.

Yohanis Y. G., Norton B., (2002). Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK. *Energy*, 27(1), 77-92.

Yuan J., Li X., Xiahou X., Tymvios N., Zhou Z., Li Q., (2019). Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. *Automation in construction*, 102, 86-104.

ÖZGEÇMİŞ

Büşra ÖZTÜRK, İstanbul Medipol Üniversitesi Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü 2021 yılında başarıyla tamamlamıştır. 2022 yılından beri yüksek lisans eğitimini Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında sürdürmektedir.

TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Öztürk B., Pakdamar F., (2024), “Yapılarda Gömülü Enerjinin BIM Tabanlı Araçlarda Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma”, 13. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, 181-188, İstanbul, Türkiye, 08-09 Haziran. (Sunum online olarak gerçekleşmiştir. Tam metin bildiriler kitabında yayımlanmıştır.)

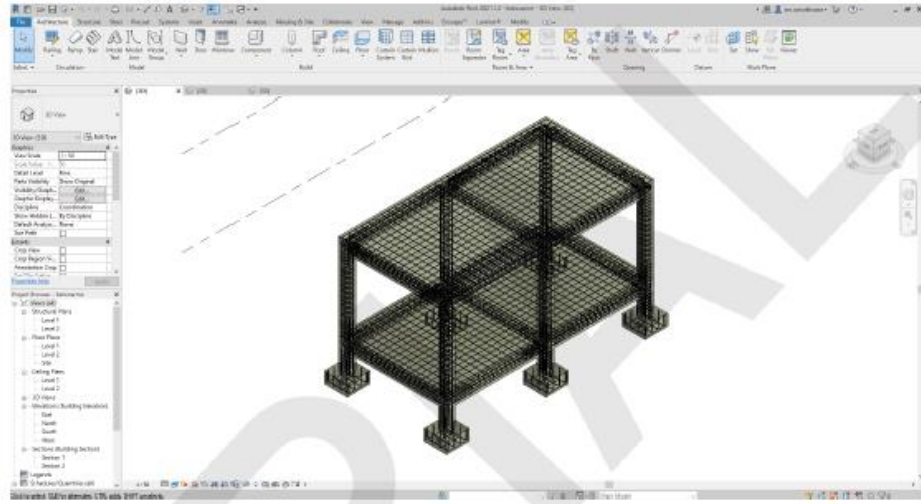
EKLER

Ek-A: Tally Aracından Elde Edilen LCA Sonuçları

LCA sonuçları

Çelik, Ahşap ve Betonarme Taşıyıcıların LCA Sonuçları

23.12.2024



tally®

Table of Contents

Report Summary	2
LCA Results	
Results per Life Cycle Stage	4
Results per Life Cycle Stage, itemized by Division	5
Results per Division	6
Results per Division, itemized by Tally Entry	7
Results per Division, itemized by Material	8
Results per Revit Category	9
Results per Revit Category, itemized by Family	10
Results per Building Element	11
Appendix	
Calculation Methodology - Life Cycle Assessment Methods	12
Calculation Methodology - Life Cycle Stages	13
Calculation Methodology - Environmental Impact Categories	14
LCI Data	15

Report Summary

Created with Tally
Trial Version 2023.09.13.01

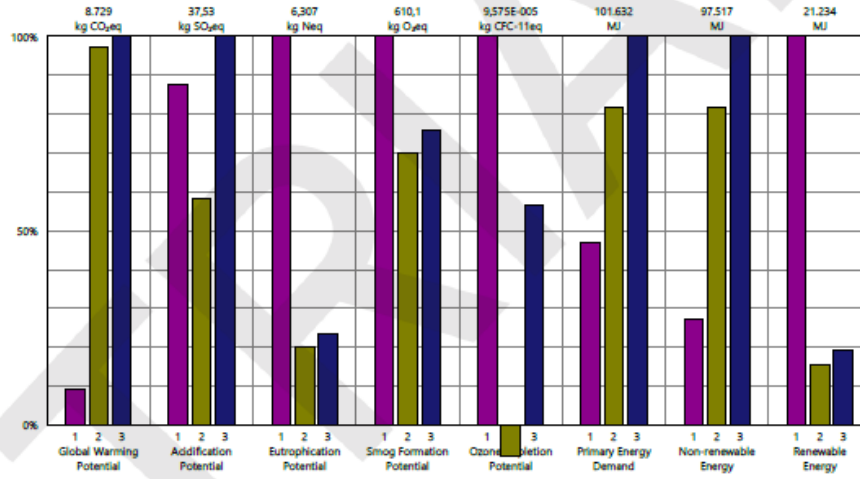
Goal and Scope of Assessment

3 farklı taşıyıcı sistemin A1-A3 üretim sürecinde tüketilen enerjisi değerlendirilecektir.

Author arc.ozturkbusra
Company Gtū
Date 23.12.2024

Project LCA sonuçları
Location Kocaeli
Gross Area 46 m²
Building Life 60 years

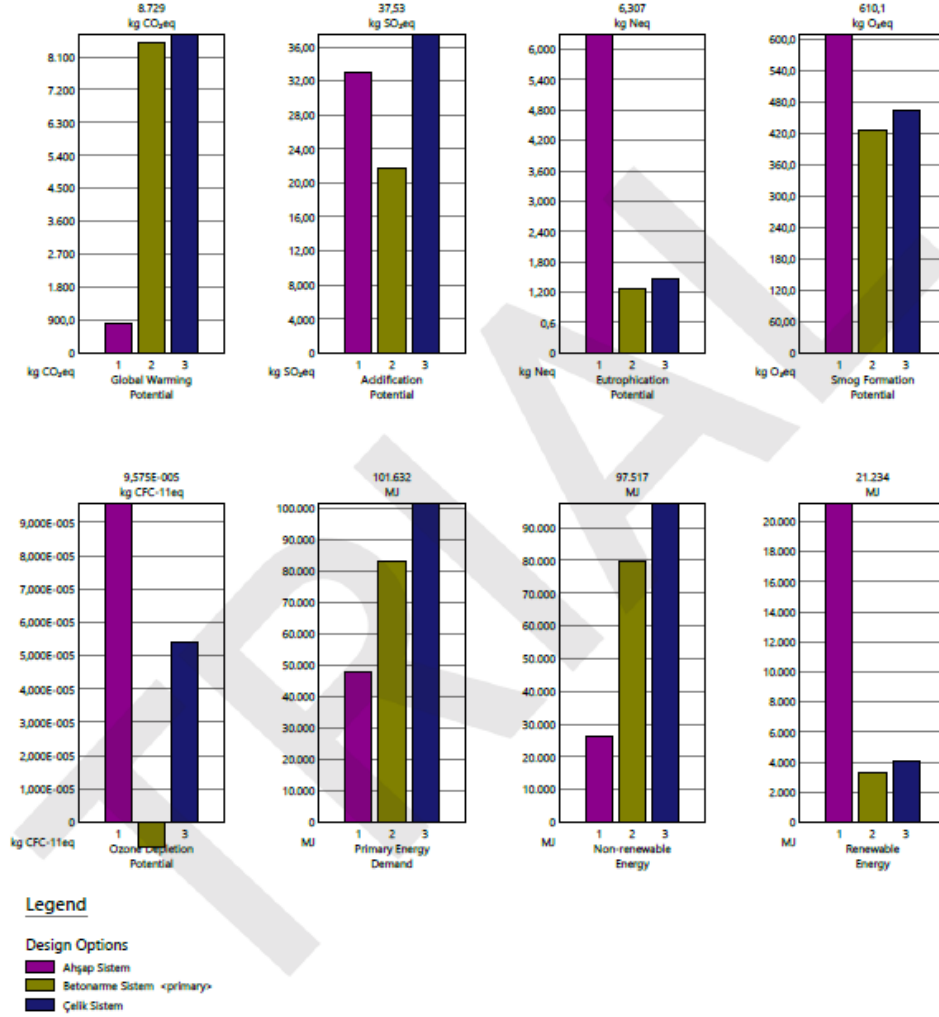
Boundaries Cradle to grave, inclusive of biogenic carbon; see appendix for a full list of materials and processes



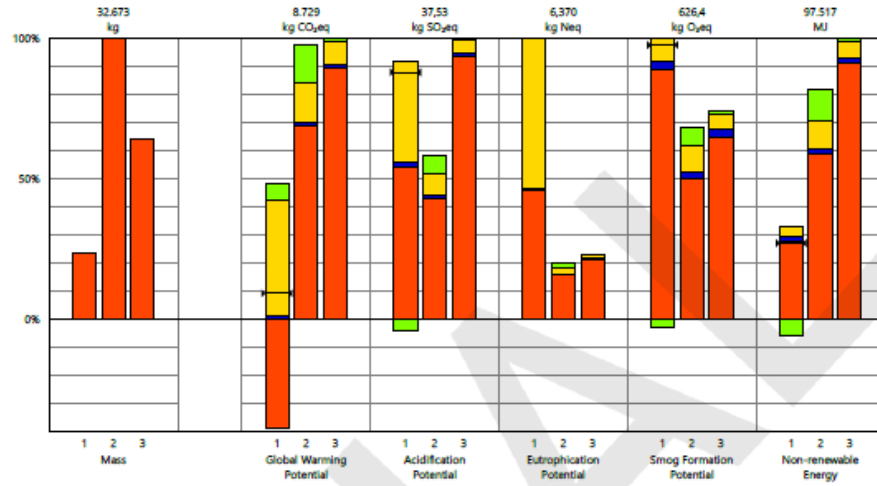
Legend

Design Options
■ Ahşap Sistem
■ Betonarme Sistem - <primary>
■ Çelik Sistem

Report Summary (continued)



Results per Life Cycle Stage



Legend

Net value (impacts + credits)

Design Options

Option 1 - Ahşap Sistem

Option 2 - Betonarme Sistem <primary>

Option 3 - Çelik Sistem

Life Cycle Stages

Product (A1-A3)

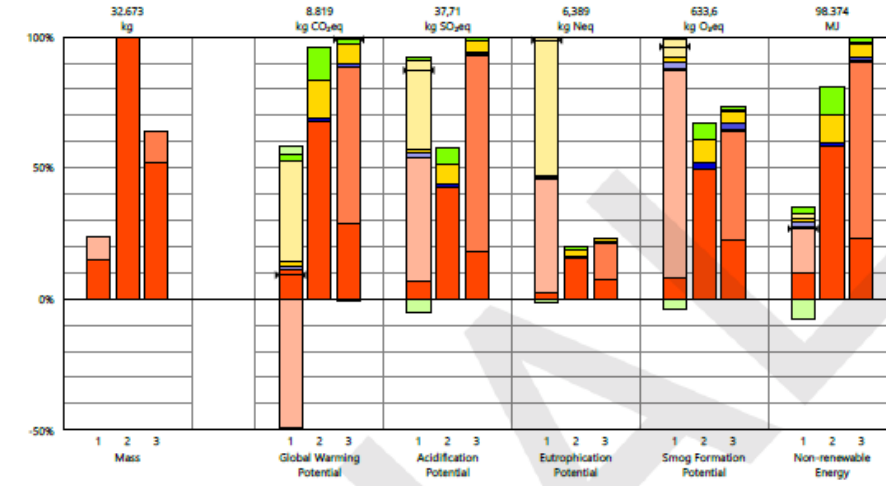
Transportation (A4)

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 - Ahşap Sistem
- Option 2 - Betonarme Sistem <primary>
- Option 3 - Çelik Sistem

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

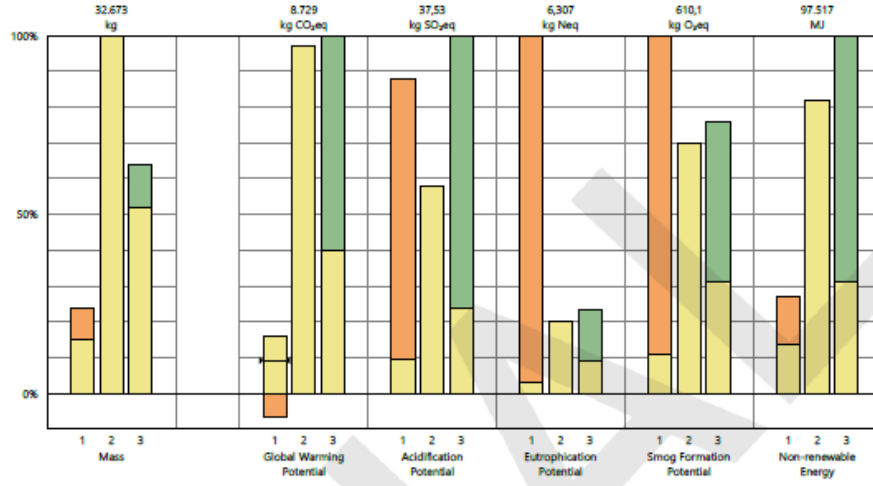
End of Life [C2-C4]

- 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)

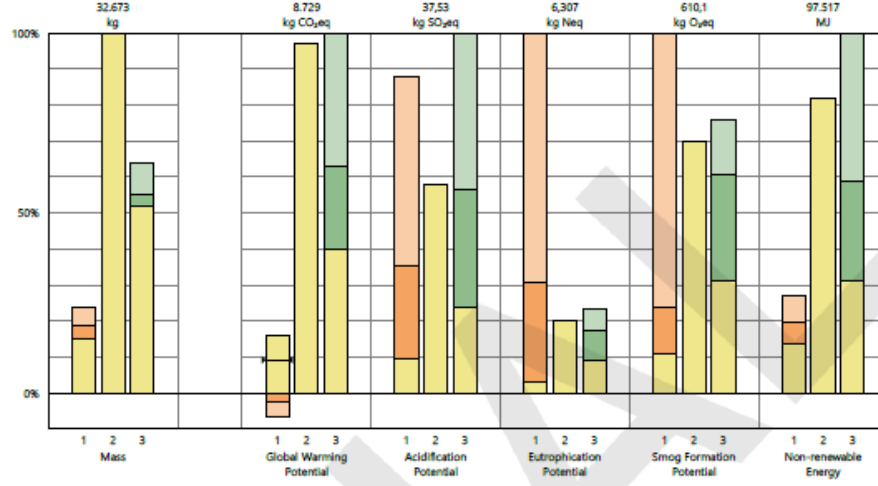
Design Options

- Option 1 - Ahşap Sistem
- Option 2 - Betonarme Sistem - primary
- Option 3 - Çelik Sistem

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 - Ahşap Sistem

Option 2 - Betonarme Sistem <primary>

Option 3 - Çelik Sistem

03 - Concrete

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

05 - Metals

Steel, deck

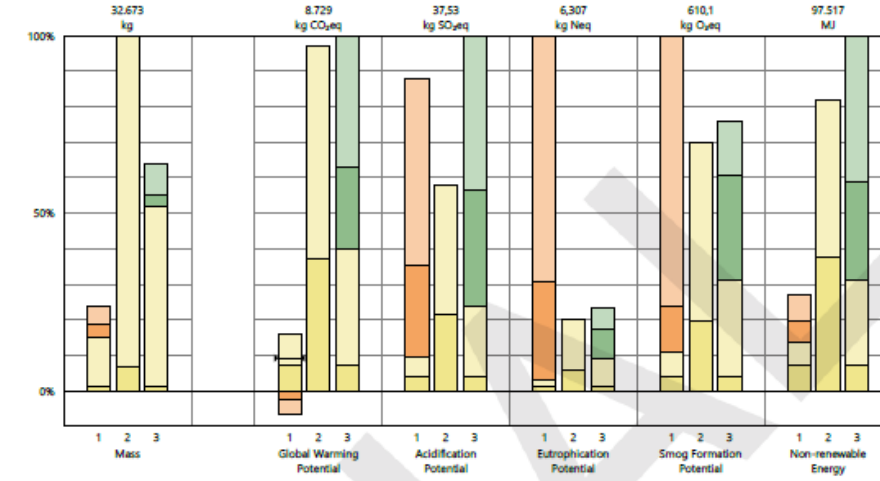
Steel, IPE section

06 - Wood/Plastics/Composites

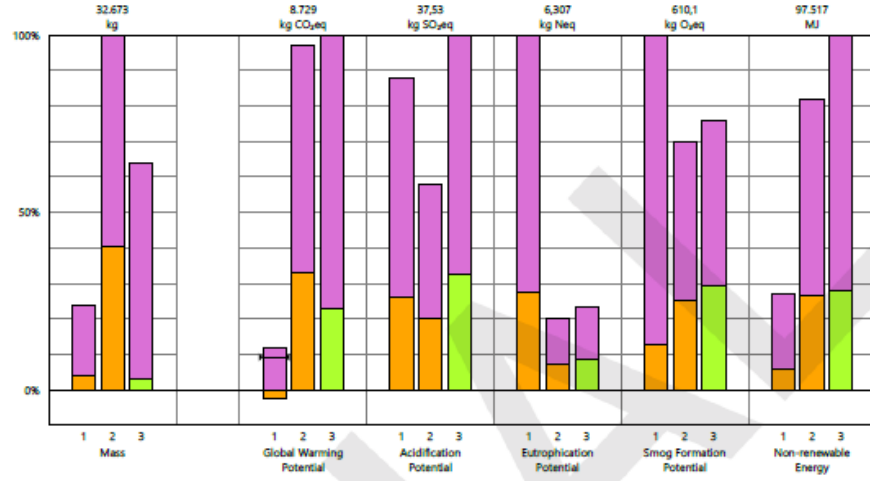
Cross laminated timber (CLT)

Glue laminated timber (Glulam)

Results per Division, itemized by Material



Results per Revit Category



Legend

Net value (impacts + credits)

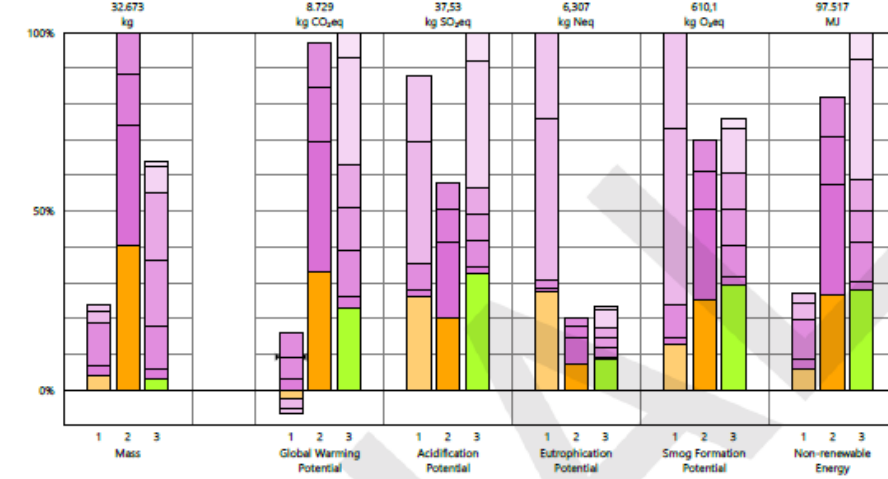
Design Options

- Option 1 - Ahşap Sistem
- Option 2 - Betonarme Sistem <primary>
- Option 3 - Çelik Sistem

Revit Categories

- Curtainwall Mullions
- Floors
- Structure

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

← Net value (impacts + credits)

Design Options

- Option 1 - Ahşap Sistem
- Option 2 - Betonarme Sistem <primary>
- Option 3 - Çelik Sistem

Curtainwall Mullions

- Rectangular Mullion

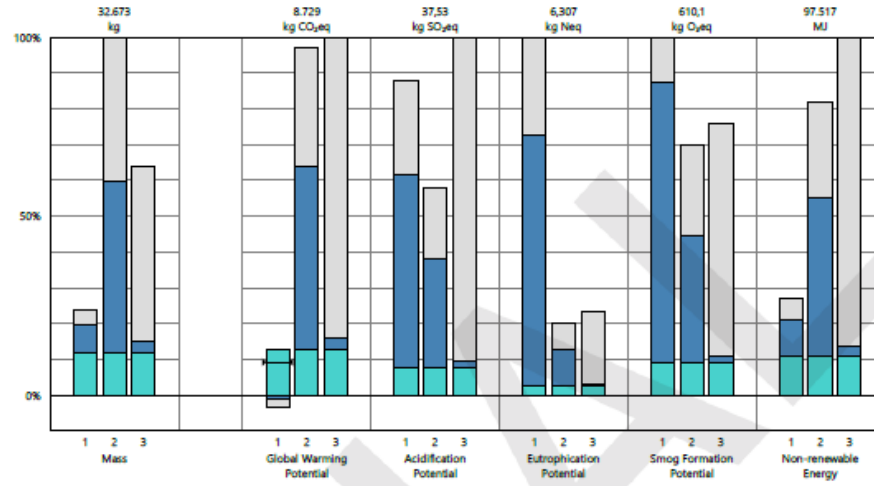
Floors

- döşeme 10 cm
- lamine ahşap

Structure

- Concrete-Rectangular Beam
- Concrete-Rectangular Column
- Footing-Rectangular
- Structural Foundations 3
- Structural Foundations 4
- Timber
- Timber-Column
- UB-Universal Beams
- UC-Universal Columns-Column

Results per Building Element



Legend

Net value (impacts + credits)

Design Options

Option 1 - Ahşap Sistem

Option 2 - Betonarme Sistem <primary>

Option 3 - Çelik Sistem

Building Elements

Substructure

Superstructure

Undefined

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 boundaries 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 CO₂eq).

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 SO₂eq

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 CO₂eq

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 O₃eq

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.

Cross Laminated Timber (CLT) (expired)	1,279,9 kg
Used in the following Revit families:	
lamine ahşap	1,279,9 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: 468 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:	
(Newer data point available. Redefining this material is recommended.)	

Galvanized steel decking	932,9 kg
Used in the following Revit families:	
Rectangular Mullion	932,9 kg (60 yrs)
Used in the following Tally entries:	
Steel deck	
Description:	
Hot dip galvanized steel roof decking, corrugated profile. Default roof decking is galvanized to G90 standards, coated on both sides of 20 gauge steel deck, roll formed and precut.	
Life Cycle Inventory:	
100% Steel, hot dip galvanized	
Product Scope:	
Cradle to gate for deck only.	
Transportation Distance:	
By truck: 431 km	
End-of-Life Scope:	
98% Recovered	
2% Landfilled (inert material)	
Module D Scope:	
Product has 44% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden	
LCI Source:	
RNA: Steel hot dip galvanized worldsteel (2007)	
GLO: Steel sheet stamping and bending (5% loss) ts (2014)	
US: Electricity grid mix ts (2014)	

US: Lubricants at refinery ts (2014)
GLO: Compressed air 7 bar (medium power consumption) ts (2014)
US: Metal roll forming M CA (2010)
GLO: Value of scrap worldsteel (2014)

Glued Laminated Timber (GLT) US, CA IEPD	1,637,6 kg
Used in the following Revit families:	
Timber	1,062,2 kg (60 yrs)
Timber-Column	575,4 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.	
Life Cycle Inventory:	
See EPD for additional information.	
Product Scope:	
Cradle-to-gate (A1-A3) data is sourced directly from a third-party verified EPD referenced below.	
Transportation Distance:	
By truck: 939 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:	
Industry-wide EPD	
EPD Source:	
epd.io/epc32ueuo	
EPD Designation Holder:	
American Wood Council	
EPD Program Operator:	
UL	
EPD Expiration:	
1.07.2025	

Hot rolled structural sections US IEPD (expired)	2,961,6 kg
Used in the following Revit families:	
UB-Universal Beams	2,409,7 kg (60 yrs)
UC-Universal Columns-Column	551,9 kg (60 yrs)
Used in the following Tally entries:	
Steel, IPE 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: 431 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 AISI (2010)	
(Newer data point available. Redefining this material is recommended.)	
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		DE: Sodium ligninsulfonate ts (2017) DE: Sodium naphthalene 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% butane) ts (2014) US: Light fuel oil at refinery ts (2014)	
Steel, concrete reinforcing steel, CMC - EPD		3.019,3 kg	
Used in the following Revit families:			
Concrete-Rectangular Beam	957,4 kg (60 yrs)		
Concrete-Rectangular-Column	569,7 kg (60 yrs)		
döşeme 10 cm	479,3 kg (60 yrs)		
Footings-Rectangular	1.012,8 kg (60 yrs)		
Used in the following Tally entries:			
Cast-in-place concrete, structural concrete, 3000 psi			
Description:			
Concrete reinforcing steel (rebar) by Commercial Metals Company. Appropriate for use as reinforcement in concrete. 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: 431 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-012			
EPD Designation Holder:			
Commercial Metals Company (CMC)			
EPD Program Operator:			
ASTM International			
EPD Expiration:			
1.09.2020			
Structural concrete, 3000 psi, National regional average		51.513,3 kg	
Used in the following Revit families:			
Concrete-Rectangular Beam	10.046,5 kg (60 yrs)		
Concrete-Rectangular-Column	5.978,1 kg (60 yrs)		
döşeme 10 cm	12.671,1 kg (60 yrs)		
Footings-Rectangular	10.627,7 kg (60 yrs)		
Structural Foundations 3	6.110,0 kg (60 yrs)		
Structural Foundations 4	6.079,9 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: 24 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: aluminum nitrate ts (2017)			

Ek-B: One Click LCA Aracından Elde Edilen LCA Sonuçları

Proje	Taşıyıcı Sistemler - Ahsap Taşıyıcı
Kullanıcı	Busra Öztürk - 31.12.2024
Alet	Seviye(ler) yaşam döngüsü değerlendirmesi (EN15804 +A1)
Detaylar	Seviye(ler) için yaşam döngüsü değerlendirmesi - kapsamlı değerlendirme aracı 7: Beşikten beşiğe yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA)
Genel bilgi	
Tip	Tek konutlu binalar
Adres	
Ülke	Türkiye
Brüt Kat Alanı (m²)	46
Zemin üstü kat sayısı	0

▼ Sonuçlar

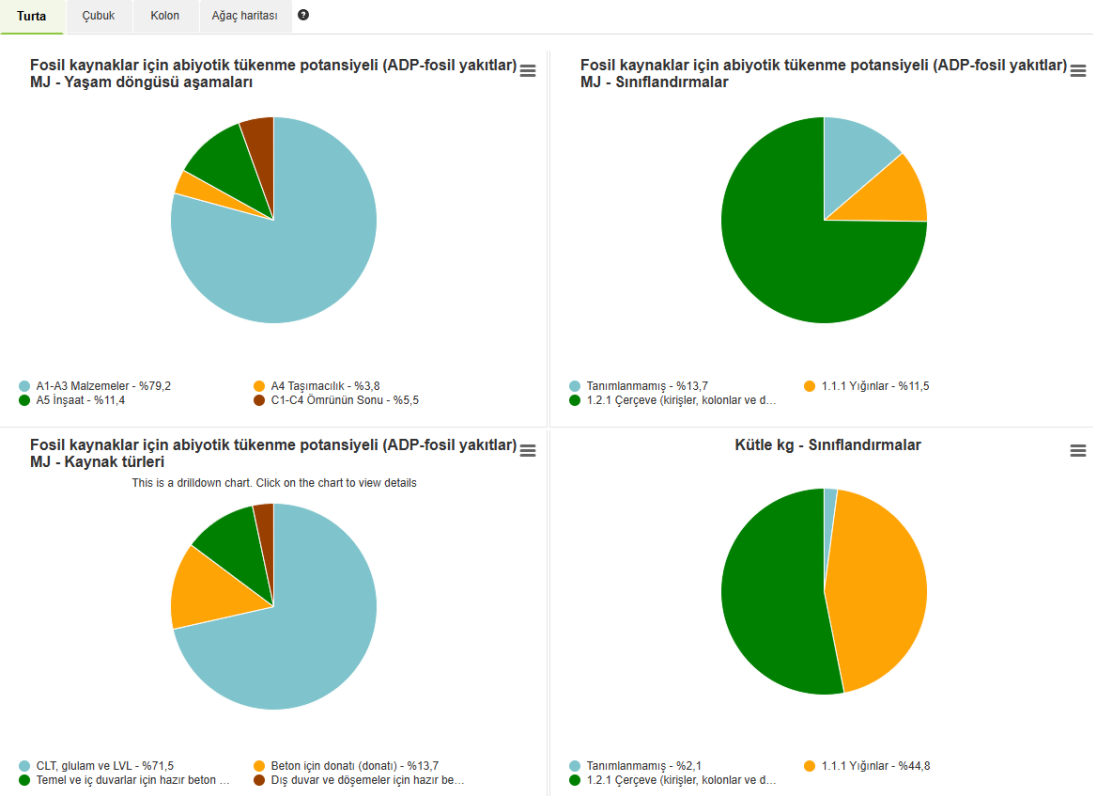
EN 15978'e uygun Seviye(ler) için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi [Sonuç Özetini İndirin](#)

Sonuç kategorisi	Küresel ısıtma kg CO ₂ e ⑦	Biyojenik karbon depolama kg CO ₂ e biyo ⑧	Ozon tükenmesi kg CFC11e ⑦	Asitleştirme kg SO ₂ e ⑦	Ötrofikasyon kg PO ₄ e ⑦	Alt atmosfer ozonunun oluşumu kg Ethenee ⑦	Fosil olmayan kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP elementleri) kg Sbe ⑦	Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ ⑦	
A1-A3 ⑦ İnşaat Malzemeleri	2 046,69	5 033,76	0	9,22	6,98	0,81	0,01	24 301,86	Detaylar
A4 ⑦ Sahaya ulaşım	59,07		0	0,17	0,04	0,01	0,18	1 169,5	Detaylar
A5 ⑦ İnşaat/kurulum süreci	298,26		0	1,29	1,06	0,11	0,04	3 507,02	Detaylar
B1 ⑦ Kullanım aşaması									Boş gizle
B3 ⑦ Tamirat	0		0	0	0	0	0	0	Detaylar
B4-B5 ⑦ Malzeme değişimi ve yenileme									Boş gizle
B6 ⑦ Enerji tüketimi									Boş gizle
B7 ⑦ Su kullanımı									Boş gizle
C1-C4 ⑦ Hayatın sonu	395,12		0	0,63	0,14	0,04	0,33	1 692,81	Detaylar
D ⑦ Dış etkiler (toplamlara dahil değildir)	-2 285,15		-0	-2,64	-0,45	-0,27	-0	-28 744,7	Detaylar
Toplam	2 799,14	5 033,76	0	11,31	8,22	0,97	0,56	30 671,2	
Payda başına sonuçlar									
Brüt iç taban alanı m2 / yıl başına	46,65	83,9	0	0,19	0,14	0,02	0,01	511,19	
Brüt iç taban alanı m2 başına	2 799,14	5 033,76	0	11,31	8,22	0,97	0,56	30 671,2	

Birincil enerji ve su kullanımını tanımlayan göstergeler

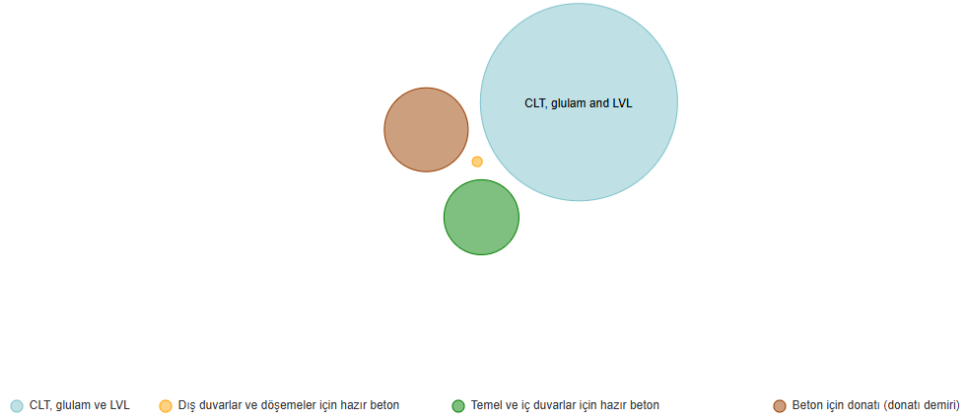
Sonuç kategorisi	Yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının hammaddede olarak kullanımı MJ	Birincil enerjinin toplam kullanımı (hammadde hariç) MJ	Yenilenebilir birincil enerjinin toplam kullanımı MJ	Yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımı MJ	Net tatlı su kullanımı m3	
A1-A3	İnşaat Malzemeleri	47 746,64	28 512,21	57 248,83	19 517,71	4 586,74 Detaylar
A4	Şantiyeye ulaşım	0	1 237,65	34,74	1 202,91	0,02 Detaylar
A5	İnşaat/kurulum süreci	7 973,69	4 305,32	9 551,42	2 812,38	767,08 Detaylar
B1	Kullanım aşaması					Boş gizle
B3	Tamirat	0	0	0	0	0 Detaylar
B4-B5	Malzeme değişimi ve yenileme					Boş gizle
B6	Enerji tüketimi					Boş gizle
B7	Su kullanımı					Boş gizle
C1-C4	Hayatın sonu	0	2 422,94	217,45	2 205,48	12,16 Detaylar
D	Diş etkiler (toplamlara dahil değildir)	0	-38 586,89	-6 945,78	-31 641,11	-3,96 Detaylar
Toplam		55 720,33	36 478,11	67 052,44	25 738,49	5 366
Payda başına sonuçlar						
Brüt iç taban alanı m2 / yıl başına		928,67	607,97	1 117,54	428,97	89,43
Brüt iç taban alanı m2 başına		55 720,33	36 478,11	67 052,44	25 738,49	5 366

Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelinin (ADP-fosil yakıtlar) yaşam döngüsü genel görünümü

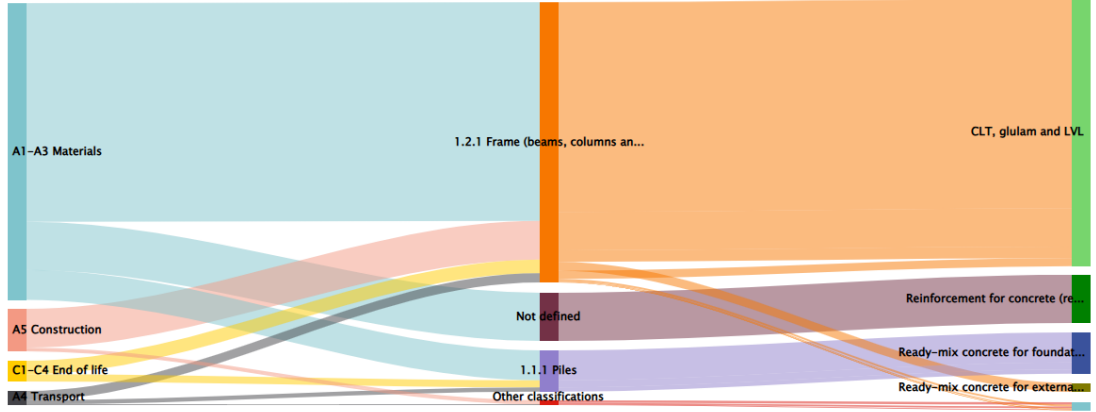


Kabarcık grafiği, kaynak türü ve alt türüne göre toplam yaşam döngüsü etkisi, Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar)

Etkileri vurgulamak için farenizi efsanelerin veya grafiğin üzerine getirin. Okunabilirlik için balonların minimum ve maksimum boyutları sınırlandırılmıştır



Sankey diyagramı, Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar)



Ağaç haritası, Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar)

Yaşam döngüsü aşaması – alt tip



Kaynak türü – alt tür (tüm yaşam döngüsü boyunca)



Proje	Tasiyici Sistemler - Betonarme Tasiyici
Kullanıcı	Busra Öztürk - 31.12.2024
Alet	Seviye(ler) yaşam döngüsü değerlendirmesi (EN15804 +A1)
Detaylar	Seviye(ler) için yaşam döngüsü değerlendirmesi - kapsamlı değerlendirme aracı 7: Beşikten beşiğe yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA)
Genel bilgi	
Tip	Tek konutlu binalar
Adres	
Ülke	Türkiye
Brüt Kat Alanı (m²)	46
Zemin üstü kat sayısı	0

▼ Sonuçlar

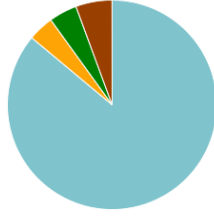
EN 15978'e uygun Seviye(ler) için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi [Sonuç Özeti İndir](#)

Sonuç kategorisi	Küresel ısıtma kg CO ₂ e ⑦	Biyojenik karbon depolama kg CO ₂ e biyo ⑦	Ozon Tükenmesi kg CFC11e ⑦	Asitleştirme kg SO ₂ e ⑦	Ötrofikasyon kg PO ₄ e ⑦	Alt atmosfer ozonunun oluşumu kg Ethenee ⑦	Fosil olmayan kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP elementleri) kg Sbe ⑦	Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ ⑦	
A1-A3 ⑦ İnşaat Malzemeleri	9 252,4	0	0	32,32	9,36	3,38	0,05	87 041,51	Detaylar
A4 ⑦ Sahaya ulaşım	274,43		0	0,49	0,1	0,04	0,19	4 020,15	Detaylar
A5 ⑦ İnşaat/kurulum süreci	437,12		0	1,53	0,45	0,16	0,11	4 390,6	Detaylar
B1 ⑦ Kullanım aşaması									Boş gizle
B3 ⑦ Tamirat	0		0	0	0	0	0	0	Detaylar
B4-B5 ⑦ Malzeme değişimi ve yenileme									Boş gizle
B6 ⑦ Enerji tüketimi									Boş gizle
B7 ⑦ Su kullanımı									Boş gizle
C1-C4 ⑦ Hayatın sonu	359,76		0	1,17	0,28	0,03	2,41	5 679,33	Detaylar
D ⑦ Dış etkiler (toplamlara dahil değildir)	-2 378,9		-0	-8,34	-2,59	-1,23	-0	-18 796,47	Detaylar
Toplam	10 323,7	0	0	35,49	10,19	3,61	2,76	101 131,58	
Payda başına sonuçlar									
Brüt iç taban alanı m2 / yıl başına	172,06	0	0	0,59	0,17	0,06	0,05	1 685,53	
Brüt iç taban alanı m2 başına	10 323,7	0	0	35,49	10,19	3,61	2,76	101 131,58	

Birincil enerji ve su kullanımını tanımlayan göstergeler

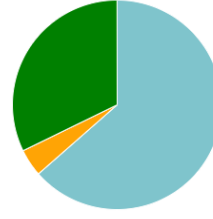
Sonuç kategorisi	Yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının hammaddede olarak kullanımı MJ	Birincil enerjinin toplam kullanımı (hammadde hariç) MJ ⑦	Yenilenebilir birincil enerjinin toplam kullanımı MJ	Yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımı MJ	Net tatlı su kullanımı m3	
A1-A3 ⑦ İnşaat Malzemeleri	0	87 397,55	4 303,68	83 093,86	73,85	Detaylar
A4 ⑦ Şantiyeye ulaşım	0	4 533,1	248,99	4 284,11	0,17	Detaylar
A5 ⑦ İnşaat/kurulum süreci	0	4 595,22	216,41	4 378,81	3,32	Detaylar
B1 ⑦ Kullanım aşaması						Boş gizle
B3 ⑦ Tamirat	0	0	0	0	0	Detaylar
B4-B5 ⑦ Malzeme değişimi ve yenileme						Boş gizle
B6 ⑦ Enerji tüketimi						Boş gizle
B7 ⑦ Su kullanımı						Boş gizle
C1-C4 ⑦ Hayatın sonu	0	8 830,45	144,76	8 685,69	0,33	Detaylar
D ⑦ Dış etkiler (toplamlara dahil değildir)	0	-20 889,29	-527,67	-20 361,63	-2,08	Detaylar
Toplam	0	105 356,31	4 913,84	100 442,48	77,67	
Payda başına sonuçlar						
Brüt iç taban alanı m2 / yıl başına	0	1 755,94	81,9	1 674,04	1,29	
Brüt iç taban alanı m2 başına	0	105 356,31	4 913,84	100 442,48	77,67	

Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ - Yaşam döngüsü aşamaları



A1-A3 Malzemeler - %86,1
A5 İnşaat - %4,3
A4 Taşımacılık - 4,0
C1-C4 Ömrünün Sonu - %5,6

Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ - Sınıflandırmalar



Tanımlanmamış - %63,5
1.2.1 Çerçeve (kirişler, kolonlar ve d...
1.1.1 Yiğिनlar - %4,2

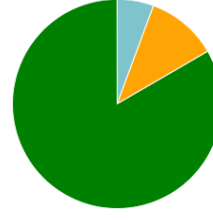
Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ - Kaynak türleri

This is a drilldown chart. Click on the chart to view details



Beton için donatı (donatı) - %5,6
Dış duvar ve döşemeler için hazır be...

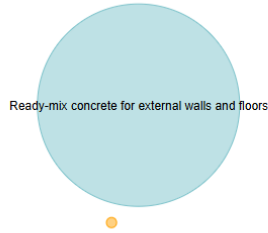
Kütle kg - Sınıflandırmalar



Tanımlanmamış - %5,6
1.2.1 Çerçeve (kirişler, kolonlar ve d...
1.1.1 Yiğिनlar - 11,0

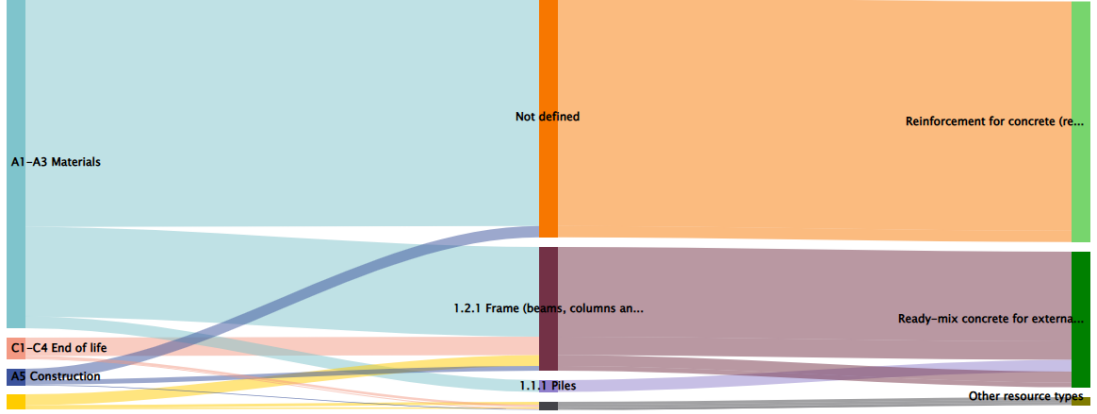
Balon grafiği, kaynak türü ve alt türüne göre toplam yaşam döngüsü etkisi, Küresel ısınma

Etkileri vurgulamak için fareni efsanelerin veya grafiğin üzerine getirin. Okunabilirlik için balonların minimum ve maksimum boyutları sınırlandırılmıştır



Dış duvarlar ve döşemeler için hazır beton
Beton için donatı (donatı demiri)

Sankey diyagramı, Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar)



Proje	Taşıyıcı Sistemler - Çelik Taşıyıcı
Kullanıcı	Busra Öztürk - 31.12.2024
Alet	Seviye(ler) yaşam döngüsü değerlendirmesi (EN15804 +A1)
Detaylar	Seviye(ler) için yaşam döngüsü değerlendirmesi - kapsamlı değerlendirme aracı 7: Beşikten beşiğe yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA)
Genel bilgi	
Tıp	Tek konutlu binalar
Adres	
Ülke	Türkiye
Brüt Kat Alanı (m ²)	46
Zemin üstü kat sayısı	0

▼ Sonuçlar

EN 15978'e uygun Seviye(ler) için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

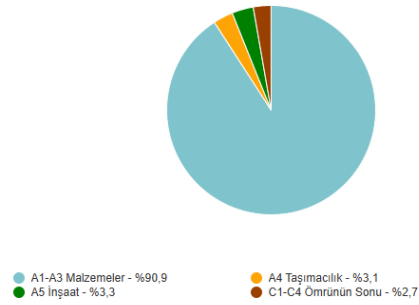
[Sonuç Özeti indirin](#)

Sonuç kategorisi	Küresel ısıtma kg CO ₂ e ⑦	Biyojenik karbon depolama kg CO ₂ e biyo ⑦	Ozon Tükenmesi kg CFC11e ⑦	Asitleştirme kg SO ₂ e ⑦	Ötrofikasyon kg PO ₄ e ⑦	Alt atmosfer ozonunun oluşumu kg Ethenee ⑦	Fosil olmayan kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP elementleri) kg Sbe ⑦	Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ ⑦	
A1-A3 ⑦ İnşaat Malzemeleri	4 879,47	0	0	16,55	3,35	1,17	0,02	121 217,59	Detaylar
A4 ⑦ Sahaya ulaşım	216,18		0	0,57	0,12	0,02	0,59	4 091,75	Detaylar
A5 ⑦ İnşaat/kurulum süreci	199,88		0	0,66	0,14	0,05	0,07	4 452,48	Detaylar
B1 ⑦ Kullanım aşaması									Boş gizle
B3 ⑦ Tamirat	0		0	0	0	0	0	0	Detaylar
B4-B5 ⑦ Malzeme değişimi ve yenileme									Boş gizle
B6 ⑦ Enerji tüketimi									Boş gizle
B7 ⑦ Su kullanımı									Boş gizle
C1-C4 ⑦ Hayatın sonu	217,24		0	0,72	0,17	0,02	1,31	3 652,21	Detaylar
D ⑦ Dış etkiler (toplamlara dahil değildir)	-799,7		-0	-2,3	-0,44	-0,26	-0	-5 035,62	Detaylar
Toplam	5 512,77	0	0	18,51	3,78	1,26	1,99	133 414,03	
Payda başına sonuçlar									
Brüt iç taban alanı m2 / yıl başına	91,88	0	0	0,31	0,06	0,02	0,03	2 223,57	
Brüt iç taban alanı m2 başına	5 512,77	0	0	18,51	3,78	1,26	1,99	133 414,03	

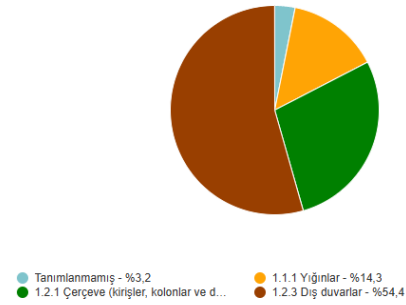
Birincil enerji ve su kullanımını tanımlayan göstergeler

Sonuç kategorisi	Yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının hammadde olarak kullanımı MJ	Birincil enerjinin toplam kullanımı (hammadde hariç) MJ	Yenilenebilir birincil enerjinin toplam kullanımı MJ	Yenilenemeyen birincil enerjinin toplam kullanımı MJ	Net tatlı su kullanımı m3	
A1-A3	İnşaat Malzemeleri	0	139 104,55	17 484,24	121 620,58	1 953,54 Detaylar
A4	Şantiyeye ulaşım	0	4 367,25	138,77	4 228,48	0,09 Detaylar
A5	İnşaat/kurulum süreci	0	5 109,49	593,23	4 516,26	64,64 Detaylar
B1	Kullanım aşaması					Boş gizle
B3	Tamirat	0	0	0	0	0 Detaylar
B4-B5	Malzeme değişimi ve yenileme					Boş gizle
B6	Enerji tüketimi					Boş gizle
B7	Su kullanımı					Boş gizle
C1-C4	Hayatın sonu	0	5 390,95	82,46	5 308,49	0,19 Detaylar
D	Dış etkiler (toplamlara dahil değildir)	0	-5 302,02	-74,13	-5 227,88	-0,77 Detaylar
Toplam		0	153 972,26	18 298,71	135 673,82	2 018,46
Payda başına sonuçlar						
	Brüt iç taban alanı m2 / yıl başına	0	2 566,2	304,98	2 261,23	33,64
	Brüt iç taban alanı m2 başına	0	153 972,26	18 298,71	135 673,82	2 018,46

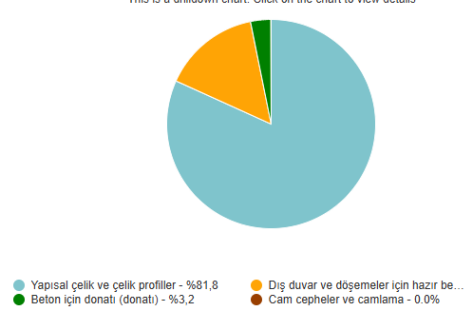
Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ - Yaşam döngüsü aşamaları



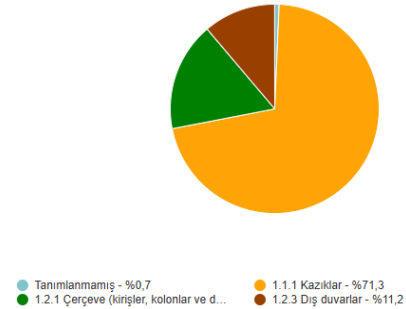
Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ - Sınıflandırmalar



Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ - Kaynak türleri

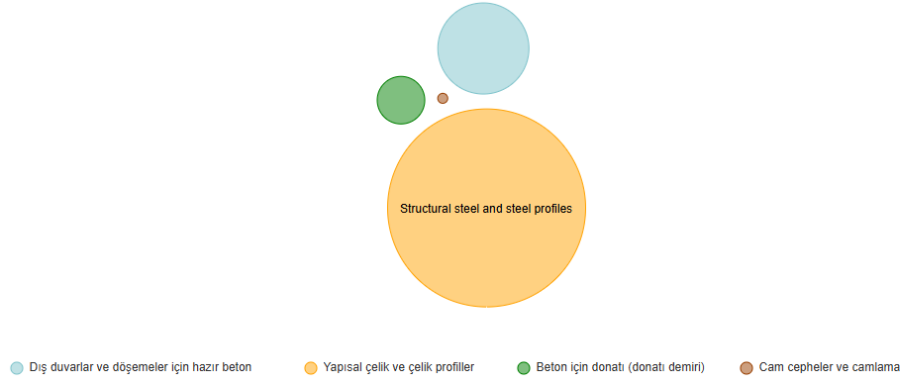


Kütle kg - Sınıflandırmalar



Kabarcık grafiği, kaynak türü ve alt türüne göre toplam yaşam döngüsü etkisi, Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar)

Etkileri vurgulamak için farenizi efsanelerin veya grafiğin üzerine getirin. Okunabilirlik için balonların minimum ve maksimum boyutları sınırlandırılmıştır



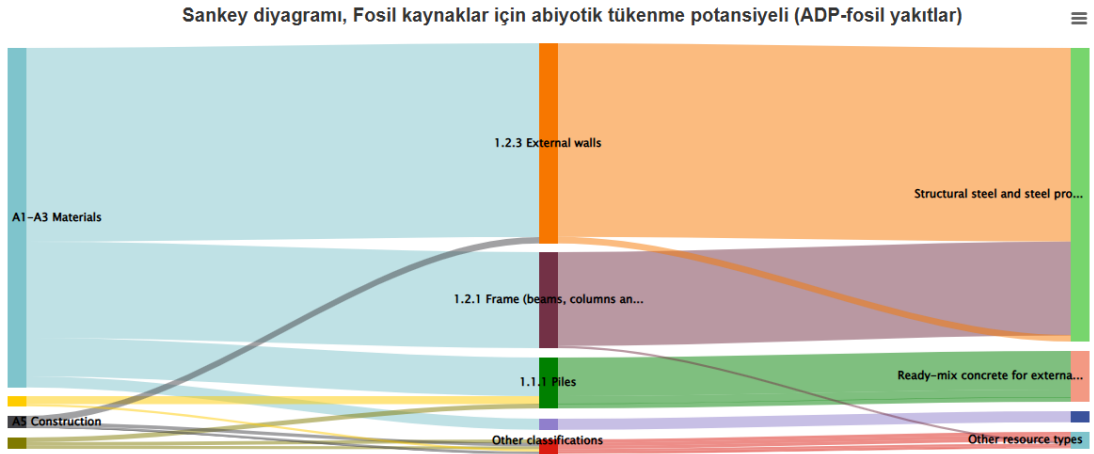
Ağaç haritası, Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar)

Yaşam döngüsü aşaması – alt tip



Kaynak türü – alt tür (tüm yaşam döngüsü boyunca)





Ek-C: eToolLCD Aracından Elde Edilen LCA Sonuçları



Life Cycle Assessment Report Tasiyici Sistemler

Date: 3 January 2025
Author: Büğra Öztürk
Report Id: Uncontrolled Document

Ahşap Taşıyıcı Sistem Sonuçları

Life Cycle Assessment Report
Taşıyıcı Sistemler
Taşıyıcı Sistemler 2
Friday, January 3, 2025 UTC



Executive Summary

This Life Cycle Assessment has been completed for the Whole Building, located at . The lead author is Bülge Öztürk of gtu and an independent review has not yet been conducted. The goal of this study is to profile and improve the environmental performance of the construction works. The study has been conducted in accordance with ISO 14044 and EN15978 .

About the Design

The focus design of the study is named Business as Usual through the report and is an equivalent benchmark design (or weighted statistical mix of designs) with conventional products, construction methods and use patterns.

Results

The results of the study are shown in the table below. The most significant life cycle stage for each environmental indicator is highlighted.

Characterised Impacts, Absolute (No Functional Unit), No Time Scale		Construction Phases	Use Phases	End of Life Phases	Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Life Cycle
		A	B	C	D	A - D
Environmental Impacts						
Global Warming Potential Total, GWP	kg CO ₂ eq	-1.04E+3	0.00E0	3.79E+3	7.49E+1	2.83E+3
Ozone Depletion Potential, ODP	kg CFC-11 eq	8.83E-4	0.00E0	3.12E-5	2.85E-5	6.20E-4
Acidification Potential for Soil and Water, AP	kg SO ₂ eq	2.90E+1	0.00E0	8.07E-1	-3.94E-1	2.94E+1
Eutrophication potential, EP	kg PO ₄ eq	1.39E+1	0.00E0	2.05E-1	1.85E-1	1.63E+1
Photochemical Ozone Creation Potential, POCP	kg ethylene	3.29E0	0.00E0	7.28E-1	3.70E-2	4.06E0
Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE	kg antimony	5.46E-1	0.00E0	5.05E-3	6.70E-3	5.57E-1
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF	MJ	6.69E+4	0.00E0	2.83E+3	5.08E+3	7.48E+4
Resource Use						
Use of renewable primary energy resource, as energy source, PERE	MJ	-2.35E+5	0.00E0	5.40E+1	6.39E+2	-2.34E+5
Use of renewable primary energy resource, as raw materials, PERM	MJ	1.19E+5	0.00E0	5.21E-1	4.06E-1	1.19E+5
Total use of renewable primary energy resources, PERT	MJ	-1.16E+5	0.00E0	5.46E+1	6.39E+2	-1.15E+5
Use of non-renewable primary energy resource, as energy source, PENRE	MJ	6.74E+4	0.00E0	2.55E+3	5.97E+3	7.56E+4
Use of non-renewable primary energy resource, as raw materials, PENRM	MJ	2.82E+3	0.00E0	3.79E+2	2.30E+1	3.22E+3
Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT	MJ	7.02E+4	0.00E0	2.89E+3	5.99E+3	7.97E+4

Analysis

The report shows that the Business as Usual has a total Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF impact of 74799.984 MJ overall. The Product Stage (A1A3) ADPF Impacts are the most dominant life cycle module in the Business as Usual Design followed by the Transport of Equipment and Materials (A4) and then Construction (A5).

Further analysis reveals:

- The Super structure is the highest impact construction category.
- Timber | Sustainably Sourced | Cross Laminated Timber | Unspecified is the highest impact material category.
- Concrete Pump, Diesel is the highest people and equipment impact

gtu
arc.ozturkbusra@gmail.com

Page 3 of 80



Business as Usual Performance

(Characterised Impacts Per Absolute (No Functional Unit) No Time Scale)

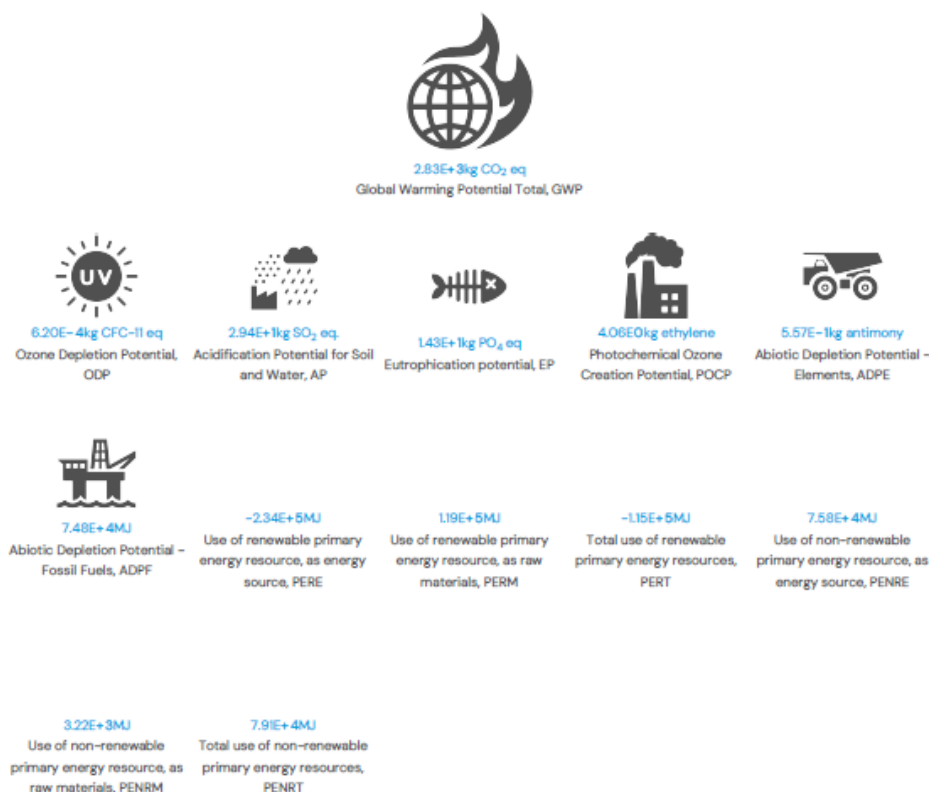


Table 4: Operational scope of LCI collection

4 Life Cycle Impact Assessment

The Life Cycle Impact Assessment (LCIA) results are provided in Tables 5 to 6 in the EN15978 reporting format. The red and orange figures within each row highlight the largest and second largest contributing life cycle modules for the indicator. Modules not assessed are abbreviated with "MNA".

4.1 Environmental Impacts

Table 5: Business as Usual, Environmental Impacts of Each Life Cycle Phase.

Characterised Impacts Per Absolute (No Functional Unit) Per No Time Scale		Construction Phases			Use Phases										End of Life Phases				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total	
		A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	B7+	B8	C1	C2	C3	C4			D
Business as Usual																					
	GWP	kg CO ₂ eq	-233E+3	1.17E+3	1.28E+2	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	1.35E+2	0.00E0	3.65E+3	7.49E+1	2.83E+3
	ODP	kg CFC-II eq	3.22E-4	1.88E-4	5.42E-5	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	2.25E-5	0.00E0	8.78E-6	2.81E-5	6.20E-4
	AP	kg SO ₂ eq	2.30E+1	5.07E0	2.94E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	5.27E-1	0.00E0	2.80E-1	-3.94E-1	2.94E+1
	EP	kg PO ₄ eq	1.12E+1	1.85E0	1.25E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	1.38E-1	0.00E0	6.32E-2	1.81E-1	1.43E+1
	POCP	kg ethylene	2.54E0	3.08E-1	4.51E-1	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	3.26E-2	0.00E0	6.95E-1	3.70E-2	4.06E0
	ADPE	kg antimony	4.85E-1	3.94E-2	4.11E-2	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	4.88E-3	0.00E0	1.76E-4	6.70E-3	5.57E-1
	ADPF	MJ	4.27E+4	1.76E+4	6.54E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	2.07E+3	0.00E0	7.63E+2	5.08E+3	7.48E+4

4.2 Resource Use

Table 6: Business as Usual, Resource Use Impacts of Each Life Cycle Phase.

Characterised Impacts Per Absolute (No Functional Unit) Per No Time Scale	Construction Phases			Use Phases										End of Life Phases				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total	
	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	B7+	B8	C1	C2	C3	C4			D
Business as Usual																				
PERE	MJ	-2.03E+5	-5.55E+2	-3.05E+4	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	4.29E+1	0.00E0	1.94E+1	6.39E+2	-2.54E+5
PERM	MJ	1.03E+5	5.54E+2	1.54E+4	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	4.84E-1	0.00E0	5.7E-2	4.05E-1	1.19E+5
PERT	MJ	-1.01E+5	-7.39E+1	-1.52E+4	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	4.31E+1	0.00E0	1.9E+1	6.39E+2	-1.15E+5
PENRE	MJ	4.38E+4	1.59E+4	5.55E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	1.95E+3	0.00E0	5.50E+2	5.97E+3	7.55E+4
PENRM	MJ	1.15E+3	1.40E+3	2.45E+2	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	1.58E+2	0.00E0	2.21E+2	2.30E+1	3.22E+3
PENRT	MJ	4.50E+4	1.83E+4	5.90E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	2.12E+3	0.00E0	7.7E+2	5.99E+3	7.91E+4

Highest and Lowest Impact Templates (MJ)

	Initial Materials & Construction (A1- A5)	Use Stage Materials Construction (B1- B5)	Integrated Energy Use (B6)	Plug Load Energy Use (B6+)	Water Supply & Treatment (B7)	End of Life (C1-C4)	Recycling & Energy Export (D)	Total
Top 7 Impact Templates								
Lamine Ahbap Döşeme (Floor, Substructure, CLT Floor Slabs (m3))	19031.27	0	0	0	0	1070.31	1767.12	21868.7
Ahbap Kiriş (Framing - Cross Laminated Timber (CLT) Frames/Beams/Columns (m3))	14518.03	0	0	0	0	795.56	1313.49	16627.07
Beton Temel (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	15343.73	0	0	0	0	3212	771.67	16436.52
Ahbap Kolon (Framing - Cross Laminated Timber (CLT) Frames/Beams/Columns (m3))	8453.86	0	0	0	0	430.58	710.91	9595.36
Beton Kolon (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	6880.19	0	0	0	0	79.24	190.41	7149.84
Çelik Donatı 16M (Reinforcement bar - External Walls, 12mm (linear m))	1849.31	0	0	0	0	94.32	236.69	2180.33
Çelik Donatı 10M (Reinforcement bar - External Walls, 12mm (linear m))	811.04	0	0	0	0	37.36	93.76	942.16
Bottom 5 Impact Templates								
Beton Temel (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	15343.73	0	0	0	0	3212	771.67	16436.52
Ahbap Kolon (Framing - Cross Laminated Timber (CLT) Frames/Beams/Columns (m3))	8453.86	0	0	0	0	430.58	710.91	9595.36
Beton Kolon (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	6880.19	0	0	0	0	79.24	190.41	7149.84
Çelik Donatı 16M (Reinforcement bar - External Walls, 12mm (linear m))	1849.31	0	0	0	0	94.32	236.69	2180.33
Çelik Donatı 10M (Reinforcement bar - External Walls, 12mm (linear m))	811.04	0	0	0	0	37.36	93.76	942.16

Betonarme Taşıyıcı Sistem Sonuçları

Life Cycle Assessment Report
Taşıyıcı Sistemler
Taşıyıcı Sistemler 2
Saturday, January 4, 2025 UTC



Executive Summary

This Life Cycle Assessment has been completed for the Whole Building, located at . The lead author is Büşra Öztürk of gtu and an independent review has not yet been conducted. The goal of this study is to profile and improve the environmental performance of the construction works. The study has been conducted in accordance with ISO 14044 and EN15978 .

About the Design

The focus design of the study is named Business as Usual through the report and is an equivalent benchmark design (or weighted statistical mix of designs) with conventional products, construction methods and use patterns.

Results

The results of the study are shown in the table below. The most significant life cycle stage for each environmental indicator is highlighted.

Characterised Impacts, Absolute (No Functional Unit), No Time Scale		Construction Phases	Use Phases	End of Life Phases	Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Life Cycle
		A	B	C	D	A - D
Environmental Impacts						
Global Warming Potential Total, GWP	kg CO ₂ eq	1.65E+4	0.00E0	7.97E+2	7.84E+2	1.8E+4
Ozone Depletion Potential, ODP	kg CFC-11 eq	9.97E-4	0.00E0	4.59E-5	6.36E-5	1.10E-3
Acidification Potential for Soil and Water, AP	kg SO ₂ eq	6.54E+1	0.00E0	1.09E0	4.13E0	7.06E+1
Eutrophication potential, EP	kg PO ₄ eq	4.8E+1	0.00E0	2.80E-1	1.66E0	5.0E+1
Photochemical Ozone Creation Potential, POCP	kg ethylene	7.97E0	0.00E0	1.65E-1	2.60E-1	8.39E0
Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE	kg antimony	2.62E0	0.00E0	5.1E-3	4.46E-2	2.67E0
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF	MJ	1.40E+5	0.00E0	4.19E+3	1.02E+4	1.54E+5
Resource Use						
Use of renewable primary energy resource, as energy source, PERE	MJ	1.9E+4	0.00E0	7.98E+1	9.25E+2	1.28E+4
Use of renewable primary energy resource, as raw materials, PERM	MJ	1.53E+4	0.00E0	2.2E0	3.23E0	1.53E+4
Total use of renewable primary energy resources, PERT	MJ	2.70E+4	0.00E0	8.20E+1	9.28E+2	2.80E+4
Use of non-renewable primary energy resource, as energy source, PENRE	MJ	1.39E+5	0.00E0	3.93E+3	1.13E+4	1.54E+5
Use of non-renewable primary energy resource, as raw materials, PENRM	MJ	4.9E+3	0.00E0	3.5E+2	1.84E+2	4.65E+3
Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT	MJ	1.43E+5	0.00E0	4.28E+3	1.15E+4	1.59E+5

Analysis

The report shows that the Business as Usual has a total Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF impact of 154100.798 MJ overall. The Product Stage (A1A3) ADPF impacts are the most dominant life cycle module in the Business as Usual Design followed by the Transport of Equipment and Materials (A4) and then Benefits and Loads From Material Reuse, Recycling and Energy Recovery (D1).

Further analysis reveals:

- The Super structure is the highest impact construction category,
- Ferrous Metals | Steel | Reinforcement bar | Unspecified is the highest impact material category,
- Concrete Pump, Diesel is the highest people and equipment impact

Business as Usual Performance

(Characterised Impacts Per Absolute (No Functional Unit) No Time Scale)

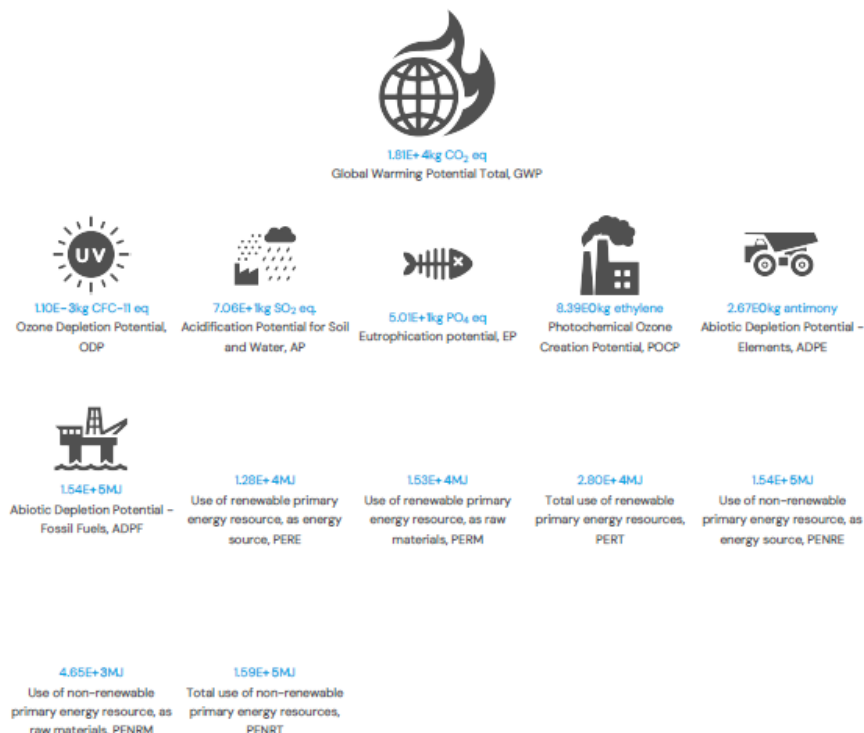


Table 4: Operational scope of LCI collection

4 Life Cycle Impact Assessment

The Life Cycle Impact Assessment (LCIA) results are provided in Tables 5 to 6 in the EN15978 reporting format. The red and orange figures within each row highlight the largest and second largest contributing life cycle modules for the indicator. Modules not assessed are abbreviated with "MNA".

4.1 Environmental Impacts

Table 5: Business as Usual, Environmental Impacts of Each Life Cycle Phase.

Characterised Impacts Per Absolute (No Functional Unit) Per No Time Scale		Construction Phases			Use Phases										End of Life Phases				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total
		A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	B7+	B8	C1	C2	C3	C4	D	
Business as Usual																				
 GWP	kg CO ₂ eq	1.35E+4	1.85E+3	1.08E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	2.62E+2	0.00E0	5.35E+2	7.94E+2	1.81E+4
 ODP	kg CFC-II eq	6.36E-4	2.95E-4	8.49E-5	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	4.32E-5	0.00E0	3.72E-5	6.36E-5	1.10E-3
 AP	kg SO ₂ eq	5.38E+1	7.66E0	4.16E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	9.85E-1	0.00E0	9.93E-2	4.13E0	7.06E+1
 EP	kg PO ₄ eq	4.34E+1	2.20E0	2.55E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	2.58E-1	0.00E0	2.24E-2	1.66E0	5.01E+1
 POCP	kg ethylene	7.01E0	4.7E-1	4.90E-1	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	6.19E-2	0.00E0	1.03E-1	2.60E-1	8.39E0
 ADPE	kg antimony	2.42E0	7.64E-2	1.25E-1	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	5.01E-3	0.00E0	9.89E-5	4.46E-2	2.67E0
 ADPF	MJ	1.03E+5	2.76E+4	8.96E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	3.85E+3	0.00E0	3.44E+2	1.02E+4	1.54E+5

4.2 Resource Use

Table 6: Business as Usual, Resource Use Impacts of Each Life Cycle Phase.

Characterised Impacts Per Absolute (No Functional Unit) Per No Time Scale	Construction Phases				Use Phases										End of Life Phases				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total
	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	B7+	B8	C1	C2	C3	C4	D		
Business as Usual																				
PERE	MJ	1.04E+4	6.98E+2	6.61E+2	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	7.77E+1	0.00E0	8.08E0	9.25E+2	1.28E+4	
PERM	MJ	1.33E+4	5.86E0	1.99E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	2.15E0	0.00E0	6.24E-2	3.23E0	1.53E+4	
PERT	MJ	2.37E+4	7.04E+2	2.65E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	7.38E+1	0.00E0	8.14E0	9.28E+2	2.80E+4	
PENRE	MJ	1.04E+5	2.63E+4	9.07E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	3.74E+3	0.00E0	1.91E+2	1.13E+4	1.54E+5	
PENRM	MJ	1.72E+3	2.17E+3	2.25E+2	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	1.91E+2	0.00E0	1.60E+2	1.84E+2	4.85E+3	
PENRT	MJ	1.05E+5	2.84E+4	9.30E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	3.93E+3	0.00E0	3.50E+2	1.95E+4	1.59E+5	

Highest and Lowest Impact Templates (MJ)

	Initial Materials & Construction (A1- & A5)	Use Stage Materials & Construction (B1- & B5)	Integrated Energy Use (B6)	Plug Load Energy Use (B6+)	Water Supply & Treatment (B7)	End of Life (C1-C4)	Recycling & Energy Export (D)	Total
Top 5 Impact Templates								
beton dşperme (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	44293.5	0	0	0	0	1144.77	2750.96	48189.22
beton kırıp (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	36048.84	0	0	0	0	909.14	2184.73	39142.71
donatı (Reinforcement bar - External Walls, 12mm (linear m))	28472.57	0	0	0	0	1430.87	3590.86	31494.1
beton kolon (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	17532.58	0	0	0	0	383.67	922	18838.25
beton temel (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	15343.73	0	0	0	0	321.12	771.67	16436.52
Bottom 5 Impact Templates								
beton dşperme (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	44293.5	0	0	0	0	1144.77	2750.96	48189.22
beton kırıp (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	36048.84	0	0	0	0	909.14	2184.73	39142.71
donatı (Reinforcement bar - External Walls, 12mm (linear m))	28472.57	0	0	0	0	1430.87	3590.86	31494.1
beton kolon (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	17532.58	0	0	0	0	383.67	922	18838.25
beton temel (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	15343.73	0	0	0	0	321.12	771.67	16436.52

Çelik Taşıyıcı Sistem Sonuçları

Life Cycle Assessment Report
Taşıyıcı Sistemler
Taşıyıcı Sistemler 2
Saturday, January 4, 2025 UTC



Executive Summary

This Life Cycle Assessment has been completed for the Whole Building, located at . The lead author is Büşra Öztürk of gtu and an independent review has not yet been conducted. The goal of this study is to profile and improve the environmental performance of the construction works. The study has been conducted in accordance with ISO 14044 and EN15978 .

About the Design

The focus design of the study is named Business as Usual through the report and is an equivalent benchmark design (or weighted statistical mix of designs) with conventional products, construction methods and use patterns.

Results

The results of the study are shown in the table below. The most significant life cycle stage for each environmental indicator is highlighted.

Characterised Impacts, Absolute (No Functional Unit), No Time Scale		Construction Phases	Use Phases	End of Life Phases	Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Life Cycle
		A	B	C	D	A - D
Environmental Impacts						
 Global Warming Potential Total, GWP	kg CO ₂ eq	1.89E+4	0.00E0	1.20E+3	-1.48E+3	1.88E+4
 Ozone Depletion Potential, ODP	kg CFC-II eq	1.14E-3	0.00E0	5.23E-5	-1.08E-4	1.08E-3
 Acidification Potential for Soil and Water, AP	kg SO ₂ eq	1.05E+2	0.00E0	1.24E0	-2.54E+1	7.99E+1
 Eutrophication potential, EP	kg PO ₄ eq	5.04E+1	0.00E0	3.19E-1	-7.48E0	5.33E+1
 Photochemical Ozone Creation Potential, POCP	kg ethylene	9.27E0	0.00E0	2.42E-1	-5.19E-1	8.99E0
 Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE	kg antimony	3.58E0	0.00E0	5.95E-3	-5.82E-1	3.00E0
 Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF	MJ	1.70E+5	0.00E0	4.77E+3	-1.76E+4	1.57E+5
Resource Use						
Use of renewable primary energy resource, as energy source, PERE	MJ	1.25E+4	0.00E0	9.08E+1	-1.43E+3	1.12E+4
Use of renewable primary energy resource, as raw materials, PERM	MJ	1.93E+4	0.00E0	2.42E0	-5.16E0	1.93E+4
Total use of renewable primary energy resources, PERT	MJ	3.18E+4	0.00E0	9.32E+1	-1.43E+3	3.09E+4
Use of non-renewable primary energy resource, as energy source, PENRE	MJ	1.72E+5	0.00E0	4.46E+3	-1.01E+4	1.57E+5
Use of non-renewable primary energy resource, as raw materials, PENRM	MJ	4.29E+3	0.00E0	4.14E+2	-2.94E+2	4.34E+3
Total use of non-renewable primary energy resources, PENRT	MJ	1.76E+5	0.00E0	4.87E+3	-1.94E+4	1.65E+5

Analysis

The report shows that the Business as Usual has a total Global Warming Potential Total, GWP impact of 16576.28 kg CO₂ eq overall. The Product Stage (A1A3) GWP Impacts are the most dominant life cycle module in the Business as Usual Design followed by the Construction (A5) and then Transport of Equipment and Materials (A4).

Further analysis reveals:

- The Super structure is the highest impact construction category.
- Ferrous Metals | Steel | Galvanised Structural | Unspecified is the highest impact material category.
- Crane, Diesel is the highest people and equipment impact

Business as Usual Performance

(Characterised Impacts Per Absolute (No Functional Unit) No Time Scale)

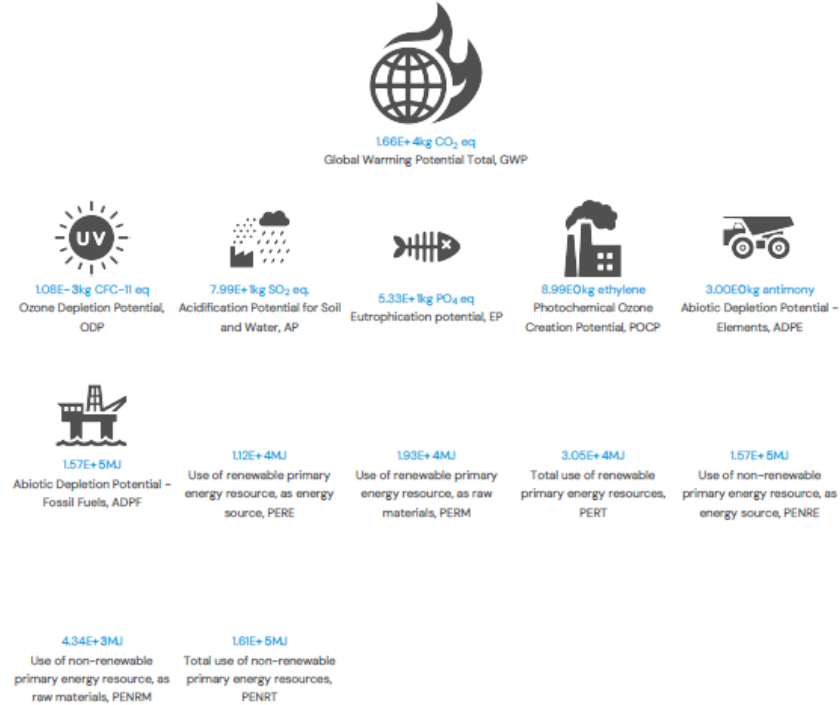


Table 4: Operational scope of LCI collection

4 Life Cycle Impact Assessment

The Life Cycle Impact Assessment (LCIA) results are provided in Tables 5 to 6 in the EN15978 reporting format. The red and orange figures within each row highlight the largest and second largest contributing life cycle modules for the indicator. Modules not assessed are abbreviated with "MNA".

4.1 Environmental Impacts

Table 5: Business as Usual, Environmental Impacts of Each Life Cycle Phase.

Characterised Impacts Per Absolute (No Functional Unit) Per No Time Scale		Construction Phases			Use Phases										End of Life Phases				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total	
		A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	B7+	B8	C1	C2	C3	C4			D
Business as Usual																					
	GWP	kg CO ₂ eq.	1.37E+4	1.38E+3	1.80E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	2.94E+2	0.00E0	9.03E+2	-1.48E+3	1.66E+4
	ODP	kg CFC-II eq.	7.36E-4	2.11E-4	1.93E-4	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	4.75E-5	0.00E0	4.82E-5	-1.08E-4	1.08E-3
	AP	kg SO ₂ eq.	9.07E+1	5.68E0	8.65E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	1.18E0	0.00E0	1.33E-1	-2.54E+1	7.99E+1
	EP	kg PO ₄ eq.	5.50E+1	1.74E0	3.64E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	2.90E-1	0.00E0	2.99E-2	-7.48E0	5.33E+1
	POCP	kg ethylene	7.98E0	3.55E-1	9.35E-1	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	6.95E-2	0.00E0	1.73E-1	-5.19E-1	8.99E0
	ADPE	kg antimony	3.38E0	5.88E-2	1.73E-1	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	5.84E-3	0.00E0	1.2E-4	-5.82E-1	3.00E0
	ADPF	MJ	1.29E+5	2.00E+4	2.15E+4	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	4.32E+3	0.00E0	4.4E+2	-1.75E+4	1.57E+5

4.2 Resource Use

Table 6: Business as Usual, Resource Use Impacts of Each Life Cycle Phase.

Characterised Impacts Per Absolute (No Functional Unit) Per No Time Scale	Construction Phases			Use Phases												End of Life Phases				Benefits and Loads Beyond the System Boundary	Total
	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B6+	B7	B7+	B8	C1	C2	C3	C4	D			
Business as Usual																					
PERE	MJ	1.54E+4	5.37E+2	6.06E+2	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	8.30E+1	0.00E0	9.81E0	-1.43E+3	1.12E+4	
PERM	MJ	1.68E+4	6.01E+1	2.51E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	2.38E0	0.00E0	7.31E-2	-5.15E0	1.93E+4	
PERT	MJ	2.89E+4	5.97E+2	3.12E+3	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	8.34E+1	0.00E0	9.88E0	-1.43E+3	3.06E+4	
PENRE	MJ	1.31E+5	1.91E+4	2.17E+4	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	4.20E+3	0.00E0	2.56E+2	-1.91E+4	1.57E+5	
PENRM	MJ	2.41E+3	1.47E+3	3.26E+2	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	2.20E+2	0.00E0	1.93E+2	-2.84E+2	4.34E+3	
PENRT	MJ	1.33E+5	2.06E+4	2.20E+4	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	0.00E0	4.42E+3	0.00E0	4.49E+2	-1.94E+4	1.61E+5	

Highest and Lowest Impact Templates (MJ)

	Initial Materials & Use Stage Materials Construction (A1- & Construction (B1-A5)	Integrated Energy Use (B6)	Plug Load Energy Use (B6+)	Water Supply & Treatment (B7)	End of Life (C1-C4)	Recycling & Energy Export (D)	Total
Top 4 Impact Templates							
çelik kolon kırıp (Frame - Structural Steel, Galvanised (m3))	83043.99	0	0	0	2256.13	-18543.66	66756.46
beton kolon temel döşeme (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	56972.83	0	0	0	1503.42	3612.82	62089.08
çelik trapez (Floor, Superstructure, Elevated Steel Frame, 19mm particleboard covering (m2))	27465.22	0	0	0	874.78	-2972.96	25367.04
donatı (Reinforcement bar - External Walls, 12mm (linear m))	2530.4	0	0	0	131.69	330.46	2992.54
Bottom 4 Impact Templates							
çelik kolon kırıp (Frame - Structural Steel, Galvanised (m3))	83043.99	0	0	0	2256.13	-18543.66	66756.46
beton kolon temel döşeme (Frame - Concrete Columns/Beams, 30MPa, 3% Reo (m3))	56972.83	0	0	0	1503.42	3612.82	62089.08
çelik trapez (Floor, Superstructure, Elevated Steel Frame, 19mm particleboard covering (m2))	27465.22	0	0	0	874.78	-2972.96	25367.04
donatı (Reinforcement bar - External Walls, 12mm (linear m))	2530.4	0	0	0	131.69	330.46	2992.54