

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KAMPÜS BİNALARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ TEMELLİ
ÇEVRESEL PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ: GEBZE
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

BÜŞRA AVINÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

EKİM 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KAMPÜS BİNALARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ TEMELLİ
ÇEVRESEL PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ:
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

BÜŞRA AVINÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

EKİM 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**LIFE CYCLE-BASED ENVIRONMENTAL PERFORMANCE
ASSESSMENT OF CAMPUS BUILDINGS: THE EXAMPLE OF
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**

BÜŞRA AVİNÇ

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE**

ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

OCTOBER 2025

YÜKSEKLİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 30.06.2025 tarih ve 2025/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 22.10.2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Büşra Avinç'in tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ

ÜYE

: Doç. Dr. Suzi DİLARA MANGAN

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Fazilet TUĞRUL OKBAZ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



*Aileme
ve
biricik eşime*

ÖZET

Üniversite kampüsleri, eğitim, araştırma ve sosyal faaliyetler gibi farklı işlevleri desteklerken, yoğun enerji kullanımını ve kaynak kullanımını gerektiren karmaşık yaşam alanlarıdır. Bu durum, kampüslerin önemli ölçüde çevresel etki üretmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, üniversite kampüslerine yönelik Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) çalışmaları, kampüslerin sürdürülebilir yönetimi ve çevresel performanslarının iyileştirilmesi için büyük önem taşımaktadır. Kampüs binalarının yaşam döngüsü değerlendirmeleri, enerji verimliliği potansiyellerinin ortaya çıkarılması, malzeme seçimlerinin optimize edilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması konusunda yol gösterici olmaktadır. Kampüs binalarına ilişkin mevcut YDD çalışmaları kullanım aşaması odaklı (enerji ve su tüketimi gibi) parametrelerle sınırlı kalmıştır. Ancak üretim ve kullanım aşamalarının birlikte değerlendirilmesi, yapıların çevresel performansının daha doğru biçimde analiz edilmesini sağlamaktadır.

Bu yüksek lisans tezi, Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) kampüsündeki seçili eğitim binalarının, kullanım aşamasındaki enerji tüketimlerini ve malzeme temelli çevresel etkilerini bütüncül bir YDD yaklaşımıyla incelemektedir. Çalışmanın temel amacı, kampüs binalarının işletme aşamasındaki enerji kullanımından (B6) ve yapı malzemelerinin üretim süreçlerinden (A1-3) kaynaklanan çevresel etkilerini belirlemek ve değerlendirmektir. Ayrıca, kampüs yapılarının çevresel performansının analizi ile sürdürülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, servis ömrü 50 yıl kabul edilen yapılar TS EN 15978, ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarına uygun olarak “One Click LCA” aracı kullanılarak, 9 çevresel etki kategorisinde ve CML metodolojisi ile değerlendirilmiştir. GTÜ Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan temin edilen elektrik, doğalgaz ve yakıt tüketim verileri doğrultusunda yapılan ön analizlerde; Çevre-Kimya (I2 Blok), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (H2 Blok) ve Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) binaları kampüsün en yüksek işletme enerjisi tüketen yapıları olarak belirlenmiş ve bu üç yapı YDD analizine dâhil edilmiştir. Analiz sonuçları, her binanın çevresel etkilerinin, yapıların fonksiyonel özellikleri ve enerji profilleri doğrultusunda farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Hem toplam emisyon değerleri hem de birim alan başına normalize edilmiş sonuçlar, B6 (kullanım aşaması) modülünün tüm kategorilerde en yüksek paya sahip olduğunu göstermiştir. Ancak, binanın işlevsel özellikleri ve alan büyüklüğü dikkate alındığında, H2 Blok, malzeme seçimi ve enerji verimliliği açısından çoğu kategoride en düşük birim alana düşen çevresel etki değerini gösterirken; T2 Blok, kapalı yüzme havuzu gibi yüksek enerji gerektiren işlevi ve yapısal özellikleri nedeniyle birçok etki kategorisinde en yüksek birim alana düşen çevresel etki değerlerine sahip olmuştur. I2 Blok ise, yüksek miktarda beton ve çelik içeriği nedeniyle gömülü karbon emisyonu ve fosil yakıt tüketimi açısından en yüksek değerlere sahiptir.

Sonuçlar, kampüs ölçeğinde enerji verimliliği ve sürdürülebilir malzeme seçimlerinin çevresel etkilerin azaltılmasındaki önemini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, üniversite kampüslerinin sürdürülebilir yönetimi için bilimsel veriye dayalı stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Kapsam dışı bırakılan binalar ve YDD aşamaları gelecekte kampüs binalarıyla yapılabilecek bütüncül analizlerin geliştirilmesi gereğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), Çevresel Etki Değerlendirmesi, Kampüs Binaları, Kullanım Enerjisi, Sürdürülebilirlik, Yapı Malzemeleri.

ABSTRACT

University campuses are complex living environments that support diverse functions such as education, research, and social activities, while requiring intensive energy and resource use. This situation leads campuses to generate significant environmental impacts. Therefore, Life Cycle Assessment (LCA) studies conducted for university campuses hold great importance for the sustainable management of campuses and the improvement of their environmental performance. Life cycle assessments of campus buildings provide guidance on identifying energy efficiency potentials, optimizing material selection, and reducing environmental impacts. Existing LCA studies on campus buildings, however, have largely been limited to use-phase parameters (such as energy and water consumption). Yet, evaluating both the production and use phases together enables a more accurate analysis of the environmental performance of buildings.

This master's thesis examines the operational energy consumption and material-related environmental impacts of selected educational buildings at the Gebze Technical University (GTU) campus using a holistic LCA approach. The main objective of the study is to identify and assess the environmental impacts arising from operational energy use (B6) and from the production processes of building materials (A1–3). In addition, it aims to contribute to the development of sustainable management strategies by analyzing the environmental performance of campus buildings. Within the scope of the study, buildings with an assumed service life of 50 years were evaluated in accordance with TS EN 15978, ISO 14040, and ISO 14044 standards using the “One Click LCA” tool across nine environmental impact categories and based on the CML methodology. Preliminary analyses conducted using electricity, natural gas, and fuel consumption data obtained from the GTU Construction and Technical Services Department identified the Environmental-Chemistry (I2 Block), Materials Science and Engineering (H2 Block), and Indoor Swimming Pool (T2 Block) buildings as the highest energy consumers on campus; therefore, these three buildings were included in the LCA analysis. The analysis results revealed that the environmental impacts of each building differ depending on their functional characteristics and energy profiles. Both total emission values and results normalized per unit area showed that the B6 (use phase) module accounted for the highest share across all categories. However, considering the functional characteristics and floor areas of the buildings, the H2 Block demonstrated the lowest environmental impact per unit area in most categories in terms of material selection and energy efficiency; whereas the T2 Block, due to its high-energy-demanding function as an indoor swimming pool and its structural features, had the highest environmental impact per unit area in many categories. Meanwhile, the I2 Block exhibited the highest values for embodied carbon emissions and fossil fuel consumption due to its high concrete and steel content.

The findings highlight the importance of energy efficiency and sustainable material selection in reducing environmental impacts at the campus scale. The results contribute to the development of evidence-based strategies for the sustainable management of university campuses. The buildings and LCA stages excluded from the study indicate the need to expand future campus-wide assessments to achieve more comprehensive analyses.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), Environmental Impact Assessment, Campus Buildings, Operational Energy, Sustainability, Building Materials.

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen çok kıymetli tez danışmanım Doç. Dr. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ'a, sabrı, samimiyeti ve sonsuz cesaretlendiriciliği için kalpten teşekkür ederim.

Çalışmamı gerçekleştirebilmem adına bilgi ve materyal desteğini esirgemeyen başta Daire Başkanı Alparslan DURUKAN ve Yapım İşleri Şube Müdürü Ramazan GÜNAL olmak üzere GTÜ Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında karşılıksız sevgi ve desteğini esirgemeyen anneme ve babama, başarılarıyla ileride bizleri gururlandıracağını çok iyi bildiğim sevinç kaynağım yeğenim Kıvanç Mağat'a, sevgisi, desteği ve ilgisi ile hep yanımda olan sevgili yol arkadaşım canım eşim Mehmet Avinç'e en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tez çalışması, T.C. TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından 2210-A Yurt İçi Genel Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında desteklenmiştir.

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. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	3
1.2. Çalışmanın Yöntemi	4
2. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ	6
2.1. YDD'nin Tarihsel Gelişim Süreci	10
2.2. YDD Yönteminin Çerçevesi	15
2.2.1. Amaç ve Kapsamın Tanımlanması (AKT)	16
2.2.2. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (YDE)	16
2.2.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)	17
2.2.4. Yorumlama	22
2.3. Kampüslerde Yapılan YDD Çalışmaları	22
2.4. Gömülü Karbon ve Gömülü Enerji	24
2.5. Kullanım Enerjisi	26
2.6. YDD Araçlarının Karşılaştırmalı Analizi ve “One Click LCA” Araç	27
2.6.1. Yaygın Olarak Kullanılan Yaşam Döngüsü Değerlendirme Araçları	29
2.6.2. YDD Araçlarının Karşılaştırmalı Analizi	30
2.6.3. One Click LCA	34
3. KAMPÜS BİNALARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ	39
3.1. GTÜ Kampüsü	39
3.1.1. Kampüs Geneline Enerji, Su ve Atık Yönetimi	41
3.2. GTÜ Binalarının Enerji Tüketim Verileri ve Değerlendirilecek Kampüs Binalarının Belirlenmesi	43
3.3. YDD Aracının Seçimi	54
3.4. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (YDE)	55
3.4.1. Kampüs Binaları	56
3.4.2. Verilerin Yazılım Aracına Girilmesi	62
3.5. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)	67
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	69
4.1. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	73
4.2. Biyolojik Karbon Depolama	77
4.3. Ozon Tabakasının İncelmesi (ODP)	80
4.4. Asitleşme	84
4.5. Ötrofikasyon	88
4.6. Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyeli (POCP)	92

4.7. Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP Elementler)	97
4.8. Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar	100
4.9. Birincil Enerjinin Toplam Kullanımı	105
4.10. Bölüm Sonucu	109
5. SONUÇ	116

KAYNAKLAR	120
ÖZGEÇMİŞ	127
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	128
EKLER	129



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CFC ₁₁ eq	: Kloroflorokarbon-11 Eşdeğeri
CO ₂ eq	: Karbondioksit Eşdeğeri
GJ	: Gigajoule (Enerji Birimi)
kWh	: Kilowatt-saat (Enerji Birimi)
kg	: Kilogram
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
MJ	: Megajoule (Enerji Birimi)
PO ₄ eq	: Fosfat Eşdeğeri
Sb eq	: Antimon Eşdeğeri
SO ₂ eq	: Kükürt Dioksit Eşdeğeri
ADP	: Abiyotik Kaynak Tükenme Potansiyeli (Abiotic Depletion Potential)
AKT	: Amaç ve Kapsam Tanımlama
AP	: Asitleşme Potansiyeli (Acidification Potential)
BSI	: İngiliz Standartlar Enstitüsü
CEN	: Avrupa Standardizasyon Komitesi
CML	: Leiden Çevre Bilimleri Merkezi (Centrum voor Milieukunde Leiden)
CML-IA	: Leiden Çevre Bilimleri Merkezi Etki Değerlendirmesi
ÇÜB / EPD	: Çevresel Ürün Beyanı (Environmental Product Declaration)
EN	: Avrupa Standardı (European Norm)
EP	: Ötrofikasyon Potansiyeli (Eutrophication Potential)
EPA	: Çevre Koruma Ajansı (ABD)
EPA REPA	: Kaynak ve Çevresel Profil Analizi
EPS	: Genleştirilmiş Polistiren Köpük
ETHENE	: Etilen
GHG	: Sera Gazı (Greenhouse Gas)
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential)
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
GYTE	: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
ILCD / ELCD	: Uluslararası / Avrupa Yaşam Döngüsü Veritabanı
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı (International Organization for Standardization)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ODP	: Ozon Tabakasının İncelme Potansiyeli (Ozone Depletion Potential)
POCP	: Fotokimyasal Oksidan Oluşum Potansiyeli (Photochemical Ozone Creation Potential)
PUR	: Poliüretan Köpük
SETAC	: Çevre Toksikolojisi ve Kimyası Derneği
TRACI	: Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı

XPS	: Ekstrüde Polistiren Köpük
YDD / LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment)
YDEA	: Yaşam Döngüsü Envanter Analizi
YDED	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1: Çalışma kapsamında incelenen yaşam döngüsü aşamaları ve modüller [TS EN 15978, 2012].	4
Şekil 2.1: Binalar için yaşam döngüsü aşamaları ve modüller [TS EN 15978, 2012].	7
Şekil 2.2: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi yönteminin aşamalarını ve bu aşamalar arasındaki ilişkileri göstermektedir (ISO 14040, 2006'dan uyarlanmıştır).	16
Şekil 2.3: Ana işlem için girdi ve çıktılar [Crawford, 2011], [Önal, 2022].	17
Şekil 2.4: YDED aşamasının unsurları [ISO 14040, 2006].	18
Şekil 2.5: Orta nokta ve son nokta etki kategorileri ile koruma alanları arasındaki örnek bağlantılar [Curran, 2015], [Barutçu, 2020].	19
Şekil 2.6: Emisyonların sınıflandırılması ve karakterizasyonu [Klopffer ve Curran, 2017], [Sönmez, 2019].	21
Şekil 2.7: İncelenen yazılım araçlarının kullanımına odaklanan Web of Science veri tabanındaki YDD yayınlarının yıllık sayısı.	29
Şekil 3.1: Gebze Teknik Üniversitesi Kampüs Haritası [Web 11, 2025].	40
Şekil 3.2: Kampüs genelinde yıllara bağlı enerji tüketim oranları.	44
Şekil 3.3: 2024 Yılı Enerji Tüketim Dağılımı.	51
Şekil 3.4: Çevre-Kimya I2 Blok, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binalarının 2024 yılı içindeki aylık enerji tüketimi.	53
Şekil 3.5: Çevre-Kimya I2 Blok Binasına ait bir fotoğraf [Web 15, 2025].	56
Şekil 3.6: Çevre-Kimya I2 Blok Binası Zemin Kat Planı.	57
Şekil 3.7: Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binasına ait bir fotoğraf [Web 16, 2025].	58
Şekil 3.8: Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Zemin Kat Planı.	59
Şekil 3.9: Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binasına ait bir fotoğraf [Avinç, 2025].	60
Şekil 3.10: Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası Zemin Kat Planı.	61
Şekil 3.11: Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası Kesiti.	62
Şekil 3.12: Proje Bilgisi.	63
Şekil 3.13: Projeye ait ek bilgiler.	63
Şekil 3.14: Proje tasarımına yönelik bilgiler.	64
Şekil 3.15: Yapı malzemesi girişi	64
Şekil 3.16: Yapı malzemesi sekmesi, Filtre yan penceresi.	65
Şekil 3.17: Yıllık enerji tüketimi sekmesi.	66
Şekil 3.18: İnşaat alanı sekmesi.	66
Şekil 3.19: Hesaplama süresi sekmesi.	67
Şekil 4.1: Küresel Isınma Potansiyeline elektrik ve doğalgaz katkıları (kg CO ₂ eq).	74
Şekil 4.2: Küresel Isınma Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg CO ₂ eq).	75

Şekil 4.3: Küresel Isınma Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg CO ₂ eq/ m ²).	76
Şekil 4.4: Biyolojik Karbon Depolamayı en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg CO ₂ eq bio).	79
Şekil 4.5: Biyolojik Karbon Depolamayı en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg CO ₂ eq bio/m ²).	80
Şekil 4.6: Ozon Tabakasının İncelmesini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg CFC ₁₁ eq).	82
Şekil 4.7: Ozon Tabakasının İncelmesini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg CFC ₁₁ eq /m ²).	83
Şekil 4.8: Asitleşmeye elektrik ve doğalgaz katkıları (kg SO ₂ eq).	85
Şekil 4.9: Asitleşmeyi en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg SO ₂ eq).	86
Şekil 4.10: Asitleşmeyi en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg SO ₂ eq /m ²).	87
Şekil 4.11: Ötrofikasyona elektrik ve doğalgaz katkıları (kg PO ₄ eq).	89
Şekil 4.12: Ötrofikasyonu en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg PO ₄ eq).	90
Şekil 4.13: Ötrofikasyonu en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg PO ₄ eq /m ²).	92
Şekil 4.14: Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg Etilen).	94
Şekil 4.15: Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg Etilen/m ²).	96
Şekil 4.16: Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg Sb eq).	98
Şekil 4.17: Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg Sb eq/m ²).	99
Şekil 4.18: Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeline elektrik ve doğalgaz katkıları (MJ).	102
Şekil 4.19: Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (MJ).	103
Şekil 4.20: Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (MJ/m ²).	104
Şekil 4.21: Birincil Enerjinin Toplam Kullanımına elektrik ve doğalgaz katkıları (MJ).	106
Şekil 4.22: Birincil Enerjinin Toplam Kullanımını en çok artıran kaynaklar/malzemeler (MJ).	107
Şekil 4.23: Birincil Enerjinin Toplam Kullanımını en çok artıran kaynaklar/malzemeler (MJ/m ²).	108

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: YDD ile ilgili ISO ve EN standartları ve TSE'deki karşılıkları [ISO 14040,2006], [ISO 14044, 2006], [CEN, 2011], [CEN, 2013] [Curran, 2015].	15
Tablo 2.2: YDED için kullanılan metodoloji örnekleri [Menoufi, 2011].	19
Tablo 2.3: YDD araçlarının yazılım özellikleri açısından karşılaştırmalı analizi.	30
Tablo 2.4: YDD araçlarının YDE açısından karşılaştırmalı analizi.	31
Tablo 2.5: YDD araçlarının YDED açısından karşılaştırmalı analizi.	33
Tablo 2.6: YDD araçlarının yorumlama evresi açısından karşılaştırmalı analizi.	33
Tablo 2.7: YDD araçları karşılaştırmasının genel değerlendirmesi.	33
Tablo 3.1 : GTÜ 2022 Sürdürülebilirlik Raporu'ndan seçili çevresel performans göstergeleri [Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Ofisi, 2022].	42
Tablo 3.2: GTÜ binalarının 2022, 2023 ve 2024 yıllarındaki yıllık enerji tüketimi ve toplam enerji tüketimindeki payı.	45
Tablo 3.3 : GTÜ kampüsünde en çok enerji tüketen on binanın 2022, 2023 ve 2024 yılları arası yıllık enerji tüketimi ve değişim oranları (kWh).	49
Tablo 3.4: İncelenen üniversite yapıları için yapıları için A1, A2, A3 ve B6 aşamalarında kullanılan envanter kaynakları.	56
Tablo 3.5: Çevre-Kimya Binası (I2 Blok) Yapısal Özellikleri.	57
Tablo 3.6: Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok) Yapısal Özellikleri.	59
Tablo 3.7: Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) Yapısal Özellikleri.	61
Tablo 3.8: Kampüs binaları için One Click LCA aracına girilen 2024 yılı enerji tüketim verileri.	65
Tablo 3.9: Kampüs binaları için One Click LCA aracına girilen brüt inşaat alanları.	66
Tablo 3.10: Çalışma kapsamında ele alınan çevresel etki kategorileri ve birimleri [CEN, 2011].	67
Tablo 4.1: Çevre-Kimya I2 Blok yaşam döngüsü çevresel etki sonuçları.	70
Tablo 4.2: Malzeme Bilimi ve Mühendisliği- H2 Blok yaşam döngüsü çevresel etki sonuçları.	71
Tablo 4.3: Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok yaşam döngüsü çevresel etki sonuçları.	72
Tablo 4.4: Üç yapı için 1 m ² başına normalize edilmiş etki değerleri (Tablo hücrelerindeki koyu değerler, ilgili kategori için en düşük, yani en çevreci birim alan etki değerlerini göstermektedir.)	114
Tablo A1.1: Çevre-Kimya I2 Blok Binası.	129
Tablo A1.2: Malzeme Mühendisliği H2 Blok Binası.	137
Tablo A1.3: Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası.	142

1. GİRİŞ

Günümüzün en büyük küresel zorlukları arasında yer alan çevre sorunları, hızla artan nüfus, sanayileşme ve kentleşme gibi faktörlerin etkisiyle giderek derinleşmektedir. Bu süreç, doğal kaynakların tükenmesine, hava ve su kirliliğinin artmasına, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve iklim değişikliğine yol açmaktadır. Bu olumsuz etkiler, ekosistemlerin dengesini bozmakta ve gelecek nesillerin yaşam kalitesini tehdit etmektedir. Bu nedenle, çevresel sorunlara kalıcı çözümler bulmak hem bireysel hem de kurumsal düzeyde sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda hareket etmeyi zorunlu kılmaktadır.

Son yıllarda küresel çapta sürdürülebilirlik çalışmalarına verilen önem artmış; enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, atık yönetimi ve karbon ayak izinin azaltılması gibi alanlarda birçok politika ve uygulama hayata geçirilmiştir. Bu çerçevede, ürünlerin ve yapıların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu noktada, bir ürün veya yapının hammaddesinin elde edilmesinden başlayarak kullanım ve bertaraf aşamalarına kadar tüm süreçlerdeki çevresel etkilerini sistematik ve kapsamlı bir şekilde analiz eden bilimsel bir yöntem olan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) büyük önem taşımaktadır. YDD; kaynak tüketimi, enerji kullanımı, sera gazı emisyonları ve diğer çevresel etkiler gibi çeşitli kriterleri değerlendirerek karar vericilere ve tasarımcılara sürdürülebilirlik açısından değerli bilgiler sunabilmektedir. Böylece, çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve çevre dostu tasarım stratejilerinin geliştirilmesi mümkün hale gelmektedir.

Üniversiteler, eğitim, araştırma ve yönetim işlevleriyle toplumsal dönüşümde kilit bir rol oynamaktadır ve kalkınmayı teşvik eden kurumlar olarak öne çıkmaktadır. Birçok akademisyen, üniversitelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasındaki önemli rolüne dikkat çekmiştir. 1970'lerin başından bu yana, akademik çevre, çevrenin sürekli bozulmasının ekonomik ve sosyal gelişimi etkileyeceğini fark etmiş ve bu durum yükseköğretim kurumlarının kendi iç çevreleri ve sürdürülebilirliklerine yönelik endişeleri artırmıştır [Xue vd., 2019]. Üniversitelerden, eğitim öğretim, araştırma ve bilgi transferi yoluyla sürdürülebilir gelişmenin yenilik merkezleri olması beklenmektedir. Bu kapsamda, sürdürülebilir üniversite kampüsleri kavramı önem kazanmaktadır.

Kampüsler, çok sayıda kullanıcısı, büyüklüğü ve bina sayıları nedeniyle küçük yerleşimler olarak kabul edilebilir. Üniversite yerleşimleri, çeşitli ihtiyaçlara ve binlerce kişiye hizmet eden karmaşık ve dinamik ortamlardır [UNEP, 2013], [Bates, 2011]. Son yıllarda yükseköğretimin hızlı büyümesi, üniversite binalarına olan talebi artırmış; binaların inşası ve işletmesi ise hem çevre hem de ekonomi üzerinde önemli etkiler yaratmıştır [Xue vd., 2019].

Üniversite kampüsleri, genellikle çok sayıda yapıdan oluşur ve uzun kullanım ömürlerine sahiptir. Bu yapılar, yüksek miktarda enerji, su ve malzeme tüketir. YDD yöntemi, yapıların ham madde temininden kullanım ve yıkım aşamasına kadar olan çevresel etkilerini değerlendirdiği için, enerji ve kaynak kullanımının optimize edilmesine katkı sağlar. Ayrıca binaların karbon ayak izi gibi çevresel etkilerini hesaplayarak sürdürülebilirlik stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olur. Üniversite binalarında bu analizlerin yapılması, yeşil kampüs hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından önemlidir. Üniversiteler yalnızca kullanıcı değil aynı zamanda araştırma ve eğitim kurumlarıdır. Bu nedenle, YDD uygulamaları, çevresel etki değerlendirme konusunda öğrencilere ve akademisyenlere uygulamalı bir öğrenme imkânı sunar. YDD sonuçları, yeni kampüs binalarının daha çevreci şekilde tasarlanmasını ve mevcut yapıların sürdürülebilir şekilde yenilenmesini sağlar. Bu sayede kaynaklar daha verimli kullanılırken yaşam döngüsü maliyetleri azaltılabilir [Dixit vd., 2013], [Cabeza vd., 214], [Khasreen, 2009].

Bununla birlikte, üniversite yapılarına yönelik mevcut YDD çalışmaları genellikle enerji ve su tüketimi gibi kullanım aşaması odaklı parametrelerle sınırlı kalmaktadır. Oysa, üniversite binalarının üretim ve kullanım aşamalarının birlikte ele alınması, çevresel performansın doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi açısından önemlidir. Bu yaklaşım, kampüs ölçeğinde sürdürülebilirlik stratejilerinin geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır [Jürgens vd., 2023], [Wafa vd., 2022].

Binaların çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde yalnızca kullanım aşamasına (B6) odaklanmak, yapının toplam yaşam döngüsü emisyonlarını olduğundan düşük göstermektedir. Özellikle düşük enerjili veya neredeyse sıfır enerji binalarda işletim kaynaklı emisyonlar azalırken, üretim aşamasından (A1–3) kaynaklanan gömülü emisyonların göreceli payı artmaktadır. Binalarda gömülü emisyonların toplam yaşam döngüsü emisyonları içindeki payı %40–50'ye kadar yükselebilmektedir [Röck vd.,

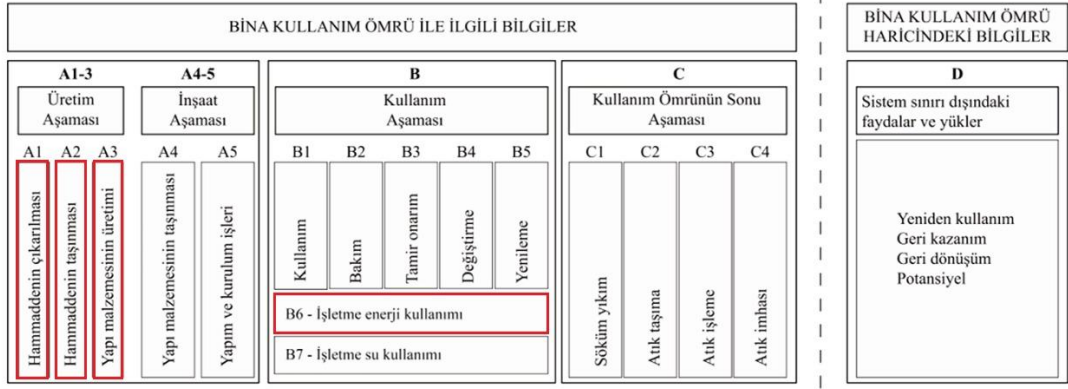
2020]. Bu nedenle, çevresel etkilerin bütüncül olarak ortaya konulabilmesi için üretim ve kullanım aşamalarının birlikte değerlendirilmesi gereklidir.

Yapı malzemelerinin üretimi, yüksek karbon yoğunluğuna sahip çimento, çelik ve alüminyum gibi girdiler nedeniyle küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. **[Bashmakov vd., 2022]**. Binalarda enerji verimliliğinin artması ve enerji tüketimindeki karbonsuzlaşmayla birlikte, inşaat sektöründeki gömülü emisyonların payı artmaktadır **[Chastas vd., 2016]**. Bu veri, yaşam döngüsü analizlerinde A1–3 aşamalarının ihmal edilmemesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışma, Gebze Teknik Üniversitesi kampüsündeki binaların malzeme temelli gömülü çevresel etkilerini ve kullanım sürecine bağlı enerji tüketiminden kaynaklanan çevresel etkilerini bütüncül bir yaklaşımla değerlendirerek yapıların sürdürülebilirlik performansını kapsamlı bir şekilde ortaya koymayı amaçlamaktadır. Ayrıca, üniversite yapılarının çevresel performansının analizi ile, malzeme ve kaynak tüketiminden kaynaklanan sıcak noktaları tespit ederek sürdürülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Çalışma kapsamında, Çevre-Kimya (I2 Blok), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (H2 Blok) ve Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) binaları kampüsteki en yüksek kullanım enerjisine sahip binalar olarak belirlenmiş ve çalışma kapsamına alınmıştır. Yapıların işletme aşamasında tükettikleri elektrik ve doğalgaz kaynaklı çevresel etkileri ile yapı malzemelerine bağlı olarak ortaya çıkan A1-3 (hammadde temini, taşıma, üretim) yaşam döngüsü aşamalarının çevresel etkileri; küresel ısınma potansiyeli, biyolojik karbon depolama, ozon tabakasının incelmesi, asitleşme, ötrofikasyon, troposferik ozon ve fotokimyasal oksidanların oluşma potansiyeli, fosil olmayan kaynakların tükenme potansiyeli, fosil yakıtların tükenme potansiyeli ve birincil enerjinin toplam kullanımı gibi dokuz etki kategorisinde analiz edilmiştir. Binaların servis ömrü 50 yıl kabul edilmiştir. A1-3 ve B6 aşamaları dışındaki inşaat süreci (A4 ve A5), kullanım aşaması (B1-5), işletme su kullanımı (B7) ve yıkım/bertaraf (C ve D) aşamaları bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur (**Şekil 1.1**).



Şekil 1.1: Çalışma kapsamında incelenen yaşam döngüsü aşamaları ve modüller [TS EN 15978, 2012].

1.2 Çalışmanın Yöntemi

Tez çalışmasının ilk aşamasında öncelikle üniversitelerde yapılan çevresel etki değerlendirmesi çalışmaları hakkında ulusal ve uluslararası bilimsel makale, tez, ve diğer yayınlar analiz edilerek literatür araştırması yapılmıştır. Daha önce kampüs binaları özelinde ülkemizde yapılan çalışmalarda tüm yaşam döngüsü evrelerinin dahil edildiği ya da üretim ve kullanım aşamalarının bir arada değerlendirildiği tam bir bina YDD çalışması yapılmadığı ortaya konulmuştur.

Tezin ikinci aşamasında, GTÜ kampüsüne ait 2022–2024 yılları arasındaki resmi faturalara dayalı elektrik, doğalgaz ve akaryakıt tüketim verileri GTÜ Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı’ndan temin edilmiştir. Yapıların kullanım sürecine ait enerji tüketimleri analiz edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda kampüs genelindeki tüketim eğilimleri belirlenmiş; incelenen 2022,2023 ve 2024 yıllarında kullanım enerjisi tüketimi en fazla olan üç bina çalışma için seçilmiştir. Bu binalar; Çevre-Kimya (I2 Blok), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (H2 Blok) ve Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok)’dur.

Üçüncü aşamada ise seçili yapıların A1 (hammadde temini), A2 (taşıma), A3 (malzeme üretimi) ve B6 (kullanım enerjisi) aşamalarını kapsayan YDD gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte yapıdaki tüm malzeme miktarları, mimari ve statik projeler ile maliyet icmallerinde bulunan metrajlardan yararlanılarak One Click LCA aracına girilmiştir. B6 aşaması için ise Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı’ndan

temin edilen 2024 yılı faturalarına dayalı elektrik ve doğalgaz tüketim verileri One Click LCA aracına eklenmiştir.

Analiz süreci uluslararası standartlara (ISO 14040, ISO 14044 ve EN15978) uygun olarak yürütülmüş; yapıların YDD'ni gerçekleştirmek için kullanılmak üzere çeşit benzetim araçları karşılaştırılmış; literatürde görece daha az çalışma bulunan, yeni, kullanıcı dostu ve öğrenci lisansına sahip One Click LCA aracı çalışma için seçilmiştir. One Click LCA yazılımında Avrupa pazarlarına yönelik analizlerde kullanılan yaşam döngüsü etki değerlendirme (YDED) yöntemi CML–IA 2012'dir. Bu tez çalışmasında da değerlendirmeler aynı metodoloji esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Bu yaklaşım sayesinde, hem işletme sürecine dayalı enerji kullanımı hem de yapı malzemeleri kaynaklı gömülü çevresel etkiler birlikte değerlendirilmiş ve yapıların toplam çevresel performansları hakkında bütüncül bir analiz sunulmuş; sürdürülebilir yapı tasarımı, malzeme seçimi ve kampüs ölçeğinde karbon azaltım stratejileri için kapsamlı bir veri zemini oluşturulmuştur.

2. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), bir ürün, süreç veya hizmetin çevresel etkilerini, hammaddelerin elde edilmesinden nihai bertarafına kadar tüm yaşam döngüsü boyunca sistematik ve nicel bir yaklaşımla değerlendiren bir yöntemdir [Curran, 2006]. YDD çeşitli kaynaklarda "yaşam döngüsü analizi", "yaşam döngüsü yaklaşımı" ya da "hayat boyu değerlendirme" (Ecobalance) gibi farklı isimlerle anılır [Jensen vd., 1997]. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) ise kendi dokümanlarında bu yaklaşımdan "Hayat boyu değerlendirme" olarak bahsetmektedir.

YDD temel olarak üç ana ilke etrafında şekillenir:

- Çevresel Yüklerin Belirlenmesi ve Nicelendirilmesi: Bu ilke, bir ürün veya sürecin yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel etkilerin (örneğin kullanılan enerji ve hammaddeler, üretilen atıklar) tanımlanmasını ve miktarının belirlenmesini kapsar.
- Olası Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi: Belirlenen çevresel yüklerin potansiyel etkilerinin (örneğin küresel ısınma, su kirliliği, habitat kaybı) analiz edilmesi ve değerlendirilmesidir.
- Korunma ve Azaltma Seçeneklerinin Değerlendirilmesi: Çevresel yükleri önlemek veya azaltmak için uygulanabilecek olası stratejilerin ve alternatiflerin incelenmesidir [Taygun, 2005], [Curran, 2006], [Akin, 2018].

YDD, bir ürün veya sürecin sürdürülebilirlik performansını anlamak için kullanılır. Bu yöntem, bir ürünün yaşam döngüsünü, hammaddelerin elde edilmesinden üretimine, kullanımına ve nihayetinde atılmasına veya geri dönüştürülmesine kadar olan tüm aşamalarını kapsar. Böylece, sadece üretim sırasındaki etkiler değil, ürünün tüm kullanım ömrü boyunca ve sonrasında oluşan etkiler de değerlendirmeye alınır [Taygun, 2005]. Bir YDD çalışması, tüm aşamaları kapsayabileceği gibi, belirli evrelere de odaklanabilir.

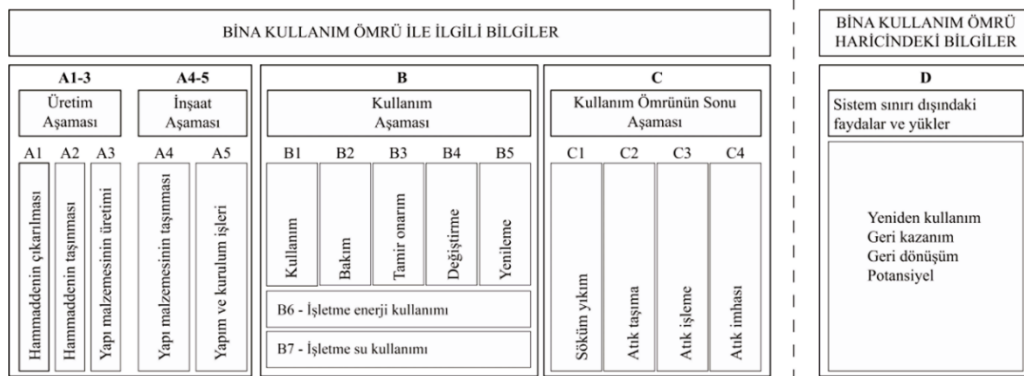
YDD çalışmalarında yaygın olarak kullanılan tanımlamalar şöyledir [ISO 14040, 2006], [ISO 14044, 2006]:

- "Beşikten Mezara" (cradle-to-grave): Yapı malzemelerinin hammaddelerinin çıkarılmasından, yapının yıkımı sonrası oluşan atıkların nihai bertarafına kadar olan tüm süreci kapsar.

- "Beşikten Beşiğe" (cradle-to-cradle): Beşikten Mezara tanımına ek olarak, yıkım atıklarının geri dönüşüm süreçlerinin de dâhil edildiği çalışmalardır. Bu, döngüsel ekonomi prensibini vurgular.
- "Beşikten Kapıya" (cradle-to-gate): Malzemelerin hammaddelerinin temininden, fabrikadan nihai ürün olarak çıktığı ana kadar olan kısmı ifade eder.
- "Kapıdan Kapıya" (gate-to-gate): Yaşam döngüsünün yalnızca belirli bir aşamasını ele alan çalışmalardır [Jacquemin vd., 2012].

Bina yaşam döngüsü ile malzeme yaşam döngüsü arasında bazı temel farklar bulunmaktadır. Örneğin, yapı malzemelerinde fonksiyonel birim genellikle belirli bir ürün üzerinden tanımlanırken, bina ölçeğinde fonksiyonel birim çoğunlukla birim kullanım alanı temelinde ele alınır. Malzeme yaşam döngüsünde elde edilen veriler sanayi üretim süreçlerine dayanırken, bina yaşam döngüsüne ilişkin veriler mimari projelere ve teknik özelliklere bağlıdır. Ayrıca bina düzeyindeki yaşam döngüsü değerlendirmesi; çevresel koşullardan etkilenme, farklı işlevlerin bir arada bulunması, uzun hizmet ömrü ve kullanım aşamasındaki enerji tüketimi gibi özgün unsurları da kapsar [Kotaji vd., 2003], [Ortiz vd., 2009], [Reiter, 2010].

“Yapılarda Sürdürülebilirlik – Binaların Çevresel Performansının Değerlendirilmesi – Hesaplama Yöntemi” başlıklı TS EN 15978 (2012) standardı, bina tasarımında YDD uygulama biçimini dört temel aşama üzerinden tanımlamaktadır. Bu aşamalar, A, B, C ve D modüllerinden oluşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Binalar için yaşam döngüsü aşamaları ve modüller [TS EN 15978, 2012].

- "A Modülü": Ürün ve inşaat süreci aşaması (A1–A5), hammadde temininden şantiyedeki uygulama işlemlerine kadar tüm süreçleri kapsayan bir bölümdür. Bu

aşama, ürün aşaması (A1–A3) ile inşaat aşamasının (A4–A5) birleşiminden oluşur ve yapı malzemelerinin üretiminden yapının tamamlanmasına kadar geçen çevresel etkileri değerlendirir.

A1 – Doğal kaynaklardan hammadde çıkarılması ve ikincil malzemelerin üretim sürecine dâhil edilmesi işlemlerini içerir.

A2 – Hammaddelerin veya ikincil malzemelerin üretim tesislerine ulaştırılması aşamasıdır.

A3 – İnşaat malzemelerinin üretimiyle ilgili tüm süreçleri, yani “beşikten kapıya” kadar olan üretim zincirini kapsar.

A4 – Üretilen malzemelerin fabrikadan şantiye alanına taşınmasını, geçici depolama ve dağıtım işlemlerini, ayrıca vinç, kalıp gibi ekipmanların sahaya getiriliş ve geri taşınışını da içerir.

A5 – Sahadaki uygulama faaliyetlerini kapsar. Zemin hazırlığı, malzeme depolama, sahada gerçekleştirilen montaj ve imalat işlemleri, bunlar sırasında gerçekleşen enerji kullanımı (ısıtma, soğutma vb.) ve su tüketimi, ayrıca inşaat atıklarının oluşumu ve yönetimi bu aşamada değerlendirilir [TS EN 15978, 2012].

- "B Modülü": Kullanım aşaması (B1–B7), yapım sürecinin tamamlanmasından binanın kullanım ömrü sonuna kadar geçen dönemde ortaya çıkan tüm faaliyetleri ve bunların çevresel etkilerini kapsamaktadır. Bu süreç; binanın işletilmesi, bakımı, onarımı, yenilenmesi, enerji ve su tüketimi gibi unsurları içerir.

B1 – Kullanım: Binanın öngörülen koşullarda kullanımı sırasında ortaya çıkan etkileri kapsar.

B2 – Bakım: Binanın iç ve dış bileşenlerinin işlevsel, teknik ve estetik kalitesini korumak için yapılan bakım faaliyetlerini içerir. Bu kapsamda, bakım için gerekli ürünlerin üretimi ve taşınması, bina temizliği, doğrama boyama işlemleri ve havalandırma sistem filtrelerinin değiştirilmesi gibi işlemler yer alır.

B3 – Onarım: Kullanım süresince bina bileşenlerinin tamir edilmesini içerir. Bu süreç, onarılacak parçaların üretimi, taşınması, montajı, tamir işlemi sırasında ortaya çıkan atıkların yönetimi ve sökülen parçaların bertarafını kapsar [TS EN 15978, 2012].

B4 – Değişim: Ömrünü tamamlayan bina bileşenlerinin yenilenmesini içerir. Bu aşamada, yeni elemanların üretimi ve taşınması, montaj işlemleri, atıkların yönetimi

ve sökülen parçaların kullanım ömrünün sona ermesi değerlendirilir. Örnek olarak pencere, kapı, ısıtma sistemi veya çatı kirişlerinin değiştirilmesi verilebilir.

B5 – Yenileme: Binanın fonksiyonel veya fiziksel olarak yenilenmesini ifade eder. Yeni bileşenlerin üretimi, taşınması, montajı ve bu işlemlerden kaynaklanan atıkların yönetimi bu modül kapsamındadır. Plan değişiklikleri veya ısıtma-soğutma sistemlerinin modernizasyonu bu aşamaya örnek teşkil eder.

B6 – İşletme Enerjisi Kullanımı: Binanın kullanımı sırasında tüketilen operasyonel enerjiyi kapsar. Isıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma, sıcak su temini, pompa sistemleri, otomasyon, asansör ve yürüyen merdivenlerin enerji kullanımı bu modülde değerlendirilir.

B7 – İşletme Suyu Kullanımı: Bina işletimi süresince tüketilen su miktarını ifade eder. İçme suyu, sıcak su, yeşil alan sulaması, HVAC sistemlerinde kullanılan su ve yüzme havuzları gibi bina ile entegre sistemlerin su tüketimi bu modülde yer alır. Binayla bütünleşik olmayan cihazların (örneğin çamaşır makinesi, bulaşık makinesi) su kullanımı ise dâhil edilmemeli; dahil ediliyorsa ayrı olarak raporlanmalıdır.

- "C MODÜLÜ": Bir binanın yaşam döngüsü, yapının işlevsel ömrünü tamamlaması ve artık kullanılmasının amaçlanmamasıyla sona erer. Bu aşama, binanın yıkımı ve sonrasında malzeme, bileşen veya elemanların yeniden kullanım, geri dönüşüm ya da bertaraf süreçlerine yönlendirilmesini kapsar. Yapının sökülmesi, malzemelerin sahadan uzaklaştırılması ve alanın yeniden kullanım için hazırlanmasıyla binanın yaşam döngüsünün tamamlandığı kabul edilir.

C1 – Yıkım: Binanın hizmet ömrünün bitiminden sonra gerçekleştirilen söküm ve yıkım işlemlerini kapsar. Bu süreç hem sahada yapılan yıkım faaliyetlerini hem de yıkım öncesi ve sonrası geçici çalışmaları içerir.

C2 – Atık Taşınması: Yıkım sonucu ortaya çıkan atıkların taşınmasıyla ilgilidir. Atıkların geçici depolama, işleme veya nihai bertaraf tesislerine taşınması bu modül kapsamında değerlendirilir.

C3 – Atıkların İşlenmesi: Yeniden kullanım, geri dönüşüm veya enerji geri kazanımı amacıyla atıkların işlenmesini kapsar. Yıkım sonrası toplanan malzemelerin uygunluk durumuna göre geri kazanım sürecine yönlendirilmesi bu aşamada gerçekleşir.

C4 – İmha: Geri dönüştürülemeyen veya yeniden kullanılamayan atıkların nihai imha sürecidir. Bu modülde yakma, nötralizasyon, atık depolama (düzenli gömme) ve çöp gazı kullanımı gibi işlemlerden kaynaklanan çevresel etkiler değerlendirilir [TS EN 15978, 2012].

- "D MODÜLÜ": Bu aşama, bina yaşam döngüsünün tamamlanmasının ardından yeniden kullanılabilir bileşenler ile geri dönüşüm veya enerji geri kazanımı yoluyla değerlendirilebilecek malzemelerin potansiyel kaynak olarak ele alındığı bölümdür. Bu süreçte, sistem sınırlarının ötesinde gerçekleşen malzeme geri kazanımı ve enerji üretimi sonucunda elde edilen çevresel kazanımlar ile olası çevresel yükler dikkate alınır. Böylece, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı faaliyetlerinden doğan net faydalar değerlendirilerek sisteme dışarıdan sağlanan enerji miktarı da hesaba katılır [TS EN 15978, 2012].

2.1 YDD'nin Tarihsel Gelişim Süreci

Yaşam döngüsü düşüncesinin kökenleri, 19. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır. Jevons'un "Kömür Sorunu" (1865) ve Hotelling'in optimal kaynak tükenmesi üzerine yaptığı çalışmalar (1931) gibi, yenilenemeyen kaynaklara bağımlı üretken sistemlerin fiziksel sürdürülebilirliği hakkındaki tartışmalar, bu alandaki ilk düşünsel tohumları atmıştır [Macías, A., ve Matilla-García, 2012]. Ancak, YDD'nin bir metodoloji olarak şekillenmesi, 1960'lı yıllarda, endüstriyel süreçlerin çevresel etkilerine ilişkin endişelerin artmasıyla başlamıştır [Web 1, 2025].

1960'lı yıllarda, endüstriyel süreçler için enerji gereksinimlerini nicel olarak belirlemeye odaklanan ilk çalışmalar ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalardan biri, 1963 yılında düzenlenen The World Energy Conference'daki Harold Smith'e ait kimyasal üretimi için gereken enerji hesaplarını içeren rapordur [Curran, 2006]. Bu erken çalışmalar, daha sonra YDD'nin temelini oluşturacak olan enerji analizlerinin öncüsü olmuştur.

1960'lar ve 1970'lerin başlarında, kirlilik, çevre tahribatı ve endüstriyel faaliyetlerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri konularında kamuoyunda giderek artan bir endişe gözlemlenmiştir [Guinée vd., 2011]. Rachel Carson'ın 1962 tarihli etkili eseri Sessiz Bahar (Silent Spring), kontrolsüz kalkınmanın çevresel sonuçları hakkında farkındalığın artmasında önemli bir rol oynamıştır [Web 2, 2025].

1970'li yıllardaki petrol krizleri, enerji kaynaklarının optimal yönetimi konusundaki çalışmalara önemli bir ivme kazandırmıştır **[Web 3, 2025]**. Bu krizler, hammadde tüketimi ve atık üretimi gibi konuları da kapsayan "enerji analizlerinin" geliştirilmesine yol açmış, bu analizler emisyon tahminlerini de içermeye başlamıştır **[Web 3, 2025]**. Bu gelişmeler, soyut çevresel kaygılardan somut "enerji analizlerine" ve "kaynak ve çevresel profil analizlerine" (Resource Environmental Profile Analyses - REPA) geçişi sağlamış, YDD'nin nicel yaklaşımının temelini atmıştır.

İlk kısmi YDD çalışmaları, 1960'ların sonları ve 1970'lerin başlarında ortaya çıkmıştır **[Guinée vd., 2011]**. Bunlardan biri, 1969 yılında Coca-Cola Şirketi tarafından Midwest Araştırma Enstitüsü'ne (MRI) yaptırılan, içecek ambalaj seçeneklerinin çevresel etkilerini değerlendiren çalışmadır. Bu çalışma, yaygın olarak ilk resmi YDD çalışması olarak kabul edilmektedir. Midwest Araştırma Enstitüsü (MRI), bu tür çalışmalar için "Kaynak ve Çevresel Profil Analizi" (REPA) terimini kullanmıştır.⁴ Bu yaklaşım, incelenen ürünlerin üretim zincirinin "beşikten mezara" tüm yaşam döngüsünü kapsayan bir sistem analizine dayanmıştır **[Web 3, 2025]**. "Beşikten mezara" kavramı, hammadde tedariğinden nihai bertarafa kadar olan tüm süreci kapsayarak, YDD'nin temel bir prensibi haline gelmiştir **[Curran, 2006]**. Bu kavram, çevresel çabaların tek bir kirlilik noktasına odaklanmasından (örneğin fabrika emisyonları) daha geniş bir bakış açısına geçişi temsil etmiştir. Bir sorunu çözmenin, onu ürünün yaşam döngüsünün başka bir yerine kaydırmaması gerektiğini (örneğin, daha hafif ambalajın daha fazla atık, ancak daha az nakliye emisyonu anlamına gelmesi) fark etmek, daha geniş bir bakış açısını zorunlu kılmıştır. Bu kapsamlı yaklaşım, geliştirilen çözümlerin tüm sistem için gerçekten faydalı olmasının önünü açmıştır. MRI'nin 1974'te ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) için yaptığı takip çalışması da YDD'nin gelişimine katkıda bulunmuştur **[Guinée vd., 2011]**.

YDD'nin ortaya çıkışı, tek bir buluş olmaktan ziyade, mevcut farklı uygulamaların birleşimi olmuştur. Enerji analizi (mühendislik/ekolojik ekonomiden), çevresel etki değerlendirmesi (çevre politikası/planlamadan) ve yaşam döngüsü maliyetlendirmesi (askeri/tedarik yönetiminden) gibi alanların bağımsız olarak geliştiği görülmektedir **[Macías, A., ve Matilla-García, 2012]**. Coca-Cola'nın erken çalışmasının sadece "enerji analizi" değil, "Kaynak ve Çevresel Profil Analizi" (REPA) olarak adlandırılması, farklı etki kategorilerini entegre etmeye yönelik erken bir girişimi göstermektedir **[Guinée vd., 2011]**. Bu durum, yaşam döngüsü düşüncesinin çoklu

disiplinlerde doğal bir evrimle ortaya çıktığını ve daha sonra YDD'ye resmi entegrasyonun habercisi olduğunu ortaya koymaktadır.

1970'ler ve 1980'ler, YDD'nin "kavramsal on yılları (Decades of Conception)" olarak adlandırılmaktadır. Kamuoyunun ilgisinin azaldığı ve bazı yayınlanmamış çalışmaların olduğu bir dönemin ardından, 1980'lerin başlarından itibaren akademik ve endüstriyel alanda YDD'ye olan ilgi hızla artmıştır [Guinée vd., 2011]. Bu ilgi, artan çevresel farkındalık ve kamu verilerine daha fazla erişim sayesinde endüstri ve kamu sektöründe daha fazla uygulamaya yol açmıştır [Web 3, 2025]. Özellikle Avrupa'da, YDD hükümet politikalarına ve düzenlemelerine dahil edilmeye başlanmıştır [Web 1, 2025].

1984 yılında, İsviçre Malzeme Test ve Araştırma Federal Laboratuvarları (EMPA), YDD çalışmaları için kapsamlı bir veri listesi sunan önemli bir rapor yayınlamıştır [Guinée vd., 2011]. Bu rapor, YDD'nin daha kapsamlı bir şekilde uygulanmasını hızlandırmıştır. Ayrıca, hava ve su kaynaklı emisyonları yarı-politik standartlara göre "kritik hava hacimleri" ve "kritik su hacimleri" olarak gruplandıran ilk etki değerlendirme yöntemlerinden birini de tanıtmıştır. EMPA, emisyon çalışmalarına sağlık etkilerini de dahil ederek, enerji tüketimi, kirlilik ve atık gibi parametreleri dikkate alarak değerlendirme ve karar verme süreçlerini kolaylaştırmıştır [Web 3, 2025].

1979 yılında kurulan Çevresel Zehirlilik ve Toksikoloji Derneği (SETAC), YDD metodolojisi ve kriterlerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapan önemli bir kuruluş olarak ortaya çıkmıştır. SETAC, 1980'lerin sonları ve 1990'larda, Kuzey Amerika ve Avrupa'dan YDD uygulayıcılarını, kullanıcılarını ve bilim insanlarını bir araya getirerek YDD çerçevesinin, terminolojisinin ve metodolojisinin uyumlu bir şekilde dönüştürülmesi konusunda öncü bir rol oynamıştır. SETAC tarafından düzenlenen atölye çalışmaları, YDD'ye yönelik önemli yayınların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu yayınlar arasında "Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi için Teknik Çerçeve", "Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi için Kavramsal Çerçeve" ve "Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi için Kılavuzlar: Bir 'Uygulama Kodu'" gibi temel eserler bulunmaktadır. Bu atölye çalışmaları, YDD'yi basit envanterlerden etki değerlendirme ve iyileştirme analizine de içerecek şekilde ileriye taşımada etkili olmuştur. SETAC'ın öncülük ettiği bu iş birliğine dayalı yaklaşım, fikir birliği oluşturmak ve daha sonraki resmi standartlar için entelektüel zemini hazırlamak

açısından kritik öneme sahip olmuştur [Guinée vd., 2011], [SETAC, 1991], [SETAC, 1993].

1970 ve 1990 yılları arasında YDD kavramsal olarak gelişse de, bu dönemde yaklaşımlar, terminolojiler ve sonuçlar büyük farklılıklar göstermiştir. Uluslararası iş birliği eksikliği ve ortak bir teorik çerçevenin olmaması, aynı konular için bile çelişkili sonuçlara yol açmıştır. Bu tutarsızlık, YDD'nin geniş çapta kabul görmesini engellemiş ve şirketlerin satış politikalarını desteklemede yeterli kanıt sunamamasına neden olmuştur. Özellikle 1980'lerde gerçekleştirilen standartlaşmamış YDD çalışmaları, güvenilirliği düşürerek bir "güvenilirlik krizi" yaratmıştır. Bu durum, YDD için standardizasyon ihtiyacını doğrudan tetiklemiştir [Guinée vd., 2011].

1990'lar, YDD tarihinde sıkça "Standardizasyon On Yılı" olarak anılır. Bu süreçte dünya genelinde koordinasyon faaliyetlerinde ve bilimsel faaliyetlerde belirgin bir artış yaşanmış, çok sayıda çalıştay düzenlenmiş ve YDD rehberleri ile el kitapları yayımlanmıştır [Guinée vd., 2011].

Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı (ISO), 1994 yılından başlayarak YDD çalışmalarına aktif olarak katılmış ve yöntem ile prosedürlerin resmi standardizasyon görevini üstlenmiştir [Guinée vd., 2011]. Bu süreç, 1992'de BSI tarafından yayımlanan dünyanın ilk çevre yönetim sistemleri standardı olan BS 7750'nin sağladığı bir şablon üzerine inşa edilmiş ve Mart 1996'da daha geniş kapsamlı ISO 14000 serisinin geliştirilmesine öncülük etmiştir. ISO'nun standardizasyon çalışmaları, YDD için sadece teknik rehberler sunmakla kalmamış, aynı zamanda onu güvenilir, küresel olarak tanınan bilimsel bir araç olarak meşrulaştırmıştır. Bu resmi tanıma, YDD'nin endüstriler, hükümetler ve akademik çevreler tarafından yaygın olarak benimsenmesi için kritik bir adım olmuş ve onu niş bir akademik çalışmadan ana akım bir çevre yönetim aracına dönüştürmüştür.

YDD yönteminin ilkelerini ve çerçevesini açıklayan ilk standart olan ISO 14040 Çevresel Yönetim-Hayat Boyu Değerlendirme (Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework) standardı, 1997'de yayımlanmıştır. 1998'de, ISO 14041 hedef tanımı ve envanter analizini ele alırken, 2000'de ise ISO 14042 yaşam döngüsü etki değerlendirmesini ve ISO 14043 yorumlama süreçlerini kapsayacak şekilde yayımlandı. Ancak, 2006'da bu üç standart (ISO 14041, ISO 14042 ve ISO 14043) yürürlükten kaldırıldı. Bu düzenlemeyle, ilgili içerikler ISO 14040 ve

ISO 14044:2006 Çevre Yönetimi-Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi-Gereklilikler ve Kılavuzlar (Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines) standartları altında birleştirildi [Najjar vd., 2017], [Pryshlakivsky ve Searcy, 2013].

Türkiye'de sürdürülebilirlik politikaları kapsamında, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) de ISO standartlarını kabul ederek yürürlüğe koymuştur. 1998'de ISO standartlarının ilk kez benimsenmesiyle başlayan bu süreç, yapılan düzenlemelerin ardından 2007'de "TS EN ISO 14044 Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme Gereklilikler ve Kılavuz" standartlarının yayımlanmasıyla son halini almıştır.

21.yüzyılın ilk on yılında YDD giderek daha fazla ilgi görmüştür. YDD'ye duyulan ilgi, 2002'de Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ile başlatılan "UNEP/SETAC Yaşam Döngüsü Girişimi" ile desteklenmiştir [Horne vd., 2009], [Heijungs ve Guinée, 2012].

YDD'ye olan ilginin bir diğer önemli göstergesi de Çevresel Ürün Beyanları (ÇÜB)'nin ortaya çıkışıdır. Çevresel Ürün Beyanları (ÇÜB), ISO 14040 serisi YDD standartlarına göre hazırlanmış, bir ürünün çevresel verilerini önceden belirlenmiş parametre kategorileriyle sunan belgelerdir. Bu sistem, tasarımcıların çevre dostu ürün veya malzeme seçimini kolaylaştırır [Buyle, Braet, ve Audenaert, 2013].

YDD yöntemini tanımlayan ISO 14040 serisine ek olarak, Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından EN 15804:2012 ve EN 15978:2011 standartları geliştirilmiştir. YDD ile ilgili ISO ve EN standartları ve TSE'deki karşılıkları **Tablo 2.1**'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1: YDD ile ilgili ISO ve EN standartları ve TSE'deki karşılıkları [ISO 14040,2006], [ISO 14044, 2006], [CEN, 2011], [CEN, 2013] [Curran, 2015].

Sayı	ISO ve EN Başlık (İlk ve güncel versiyon yayım yılları ile yürürlük durumu)	TSE'deki Karşılığı (İlk ve güncel versiyon kabul yılları ile yürürlük durumu)
ISO 14040	Principles and framework (1996, 2006 yürürlükte)	Principles and framework Çevre yönetimi- Hayat boyu değerlendirme- Prensipler ve çerçeve (1998, 2007 yürürlükte)
ISO 14041	Goal and scope definition and inventory analysis (1998, yürürlükten kaldırılmış)	Çevre yönetimi- Hayat boyu değerlendirme- Amaç ve kapsam tarifi ile envanter analizi (2003, yürürlükten kaldırılmış)

Tablo 2.1: Devam.

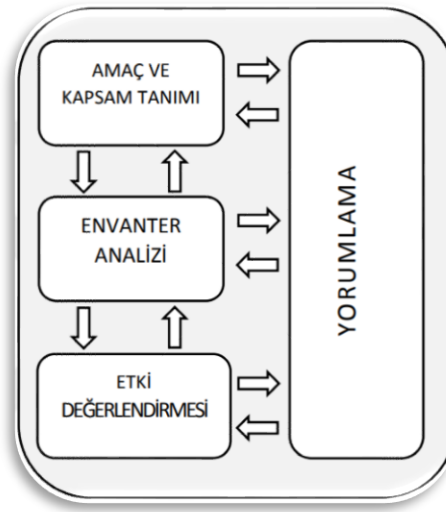
ISO 14042	Life cycle impact assessment (2000, yürürlükten kaldırılmış)	Çevre yönetimi- Hayat boyu değerlendirme- Hayat boyu etki değerlendirmesi (2002, yürürlükten kaldırılmış)
ISO 14043	Life cycle interpretations (2000, yürürlükten kaldırılmış)	Çevre yönetimi- Hayat boyu değerlendirme- Hayat boyu yorumu (2003, yürürlükten kaldırılmış)
ISO 14044	Requirements and guidelines (2006, yürürlükte)	Çevre yönetimi- Hayat boyu değerlendirme- Gereklere ve kılavuz (2007, yürürlükte)
EN 15978	Sustainability of Construction Works Assessment of Environmental Performance of Buildings-Calculation Method (2011, yürürlükte)	Yapı işlerinin sürdürülebilirliği- Binaların çevresel performansının tespiti-Hesaplama yöntemi (2012, yürürlükte)
EN 15804	Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products (2012, yürürlükte)	Yapıların sürdürülebilirliği - Mamullere ilişkin çevresel beyanlar - Yapı mamullerinin mamul kategorisi için ana kurallar (2012, yürürlükte)

2.2 YDD Yönteminin Çerçevesi

ISO 14040 (2006)'a göre YDD metodolojisi için mevcuttaki çerçeve,

- Amaç ve kapsamın tanımlanması (AKT)
- Yaşam döngüsü envanter analizi (YDE)
- Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED)
- Yaşam döngüsü yorumlaması (YDY) olarak sıralanan dört aşamadan oluşmaktadır [ISO 14040, 2006].

İlk olarak, amaç ve kapsamın tanımlanması aşamasında, çalışmanın hedefi belirlenir; fonksiyonel birim, sistem sınırları ve veri kalite kriterleri bu evrede netleştirilir. İkinci aşama olan Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (YDE), ürünün yaşam döngüsü boyunca tüketilen enerji, su, hammadde gibi girdiler ile ilişkili çevresel emisyonlara dair bilgilerin toplanması ve düzenlenmesini içerir. Üçüncü aşama olan Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED) ise, toplanan veriler ışığında olası çevresel etkilerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerinin değerlendirilmesidir; bu süreç, etki kategorilerinin tanımlanmasını, sonuçların sınıflandırılmasını, karakterizasyonunu, normalizasyonunu, gruplandırılmasını ve ağırlıklandırılmasını kapsar. Son olarak, Yaşam Döngüsü Yorumlama aşaması hem YDE hem de YDED aşamalarından elde edilen sonuçların kontrol edilmesi ve detaylı bir şekilde yorumlanmasıyla ilgilidir [ISO 14040, 2006], [Sharma vd., 2011].



Şekil 2.2: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi yönteminin aşamalarını ve bu aşamalar arasındaki ilişkileri göstermektedir (ISO 14040, 2006'dan uyarlanmıştır).

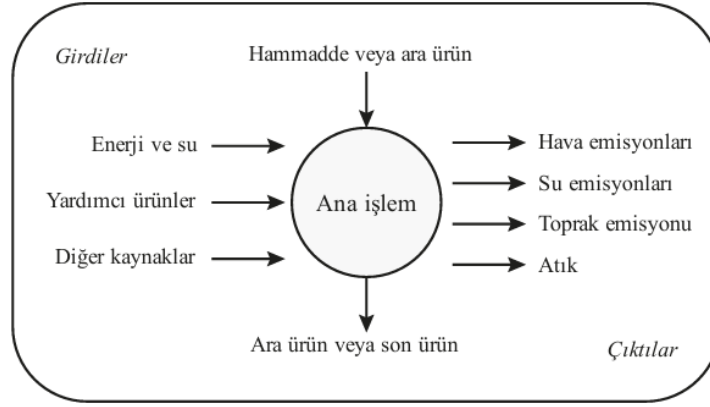
2.2.1 Amaç ve Kapsamın Tanımlanması (AKT)

YDD süreci, ISO 14040 (2006) standardına göre, çalışmanın amacının ve kapsamının net bir şekilde tanımlanmasıyla başlar. Bu adımda ürün sistemi, hedefler, varsayımlar ve sınırlar belirlenir. YDD; ürün geliştirme, pazarlama veya stratejik planlama gibi çeşitli hedefler için kullanılabilir. Bu nedenle, YDD'nin amaçlarının net bir şekilde tanımlanması büyük önem taşır. Bu aşamada, çalışmanın yapılma nedenleri, elde edilmek istenen katkılar ve sonuçların hangi hedef kitleye ulaştırılacağı açıkça ifade edilmelidir. Kapsam belirlenirken incelenecek sistem, fonksiyonel birim (ürünün nicel işlevi), sistem sınırları (tüm yaşam döngüsü aşamaları), etki kategorileri, varsayımlar ve veri kalitesi gereklilikleri tanımlanır. Bu temel belirlemeler, çalışmanın doğru ve güvenilir olmasını sağlar [ISO 14040, 2006], [ISO 14044, 2006], [Bayraktar, 2010], [Crawford, 2011], [Heijungs ve Guinée, 2012].

2.2.2 Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (YDE)

Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (YDE), bir ürün sisteminin, sürecin veya faaliyetin tüm ömrü boyunca ortaya çıkan girdi ve çıktıları belirleyip ölçmeye yönelik veri toplama ve hesaplama işlemlerini içerir. Girdiler genellikle Şekil 2.3'de görüldüğü gibi), ham maddeler, işlenmemiş veya geri dönüştürülmüş kaynaklar, su ve enerji

olarak değerlendirilirken, çıktıları ise hava, su ve toprak emisyonları ile çeşitli atıklardan oluşur [ISO 14040, 2006], [Bayraktar, 2010], [Crawford, 2011], [Anwar, 2020]. Veri kaynaklarının net ve anlaşılır bir şekilde kaydedilmesi ile varsa kabul edilen varsayımların açıkça belirtilmesi büyük önem taşır. Toplanan verilerin doğruluğu göz önünde bulundurularak sistem sınırları da bu aşamada kesinleştirilir [ISO 14044, 2006].



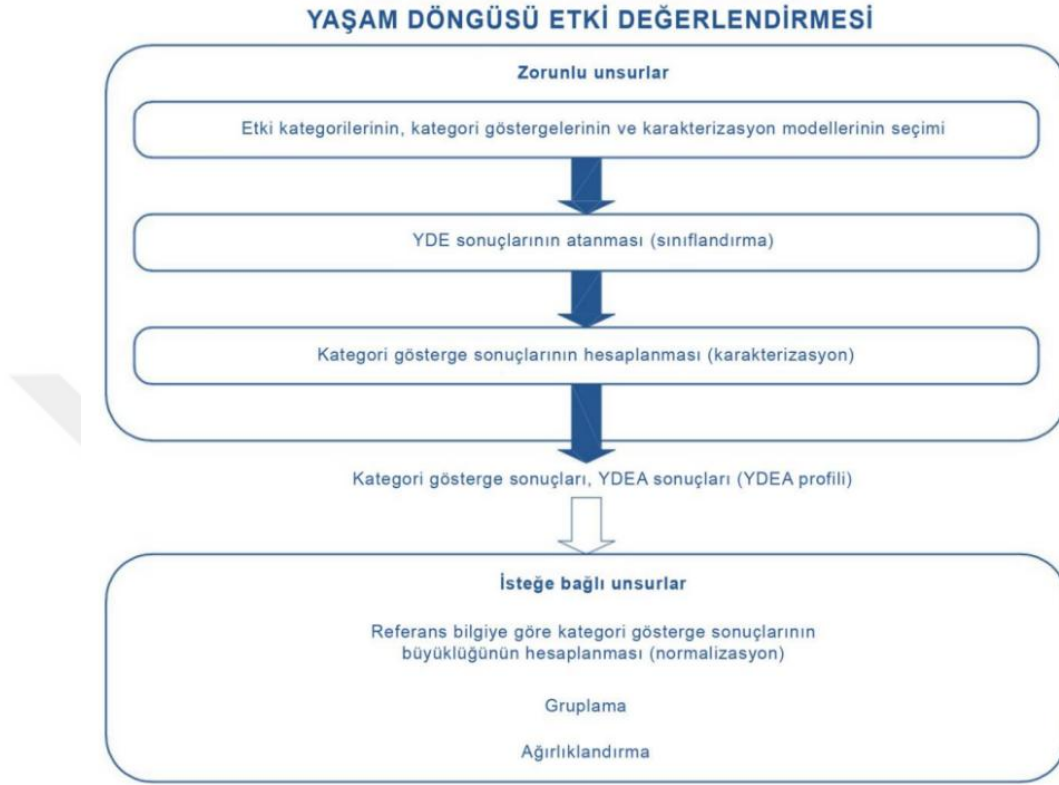
Şekil 2.3: Ana işlem için girdi ve çıktılar [Crawford, 2011], [Önal, 2022].

ISO 14040 (2006) standardına göre, envanter analizi veri toplama, veri hesaplama (değerlendirme) ve veri dağıtım adımlarından meydana gelir. YDD'nin YDE aşamasında, çalışmanın amacına uygun verilerin toplanması oldukça yoğun ve dikkat gerektiren bir süreçtir. Süreç ilerledikçe, belirlenen hedefler doğrultusunda, yeni veri gereksinimleri veya sınırlamaları ortaya çıkabilir ve bu da veri toplama prosedürlerinde değişiklikler yapılmasını gerektirebilir. Veri toplama sırasında karşılaşılabilecek olası zorluklar, çalışmanın kapsam belirleme aşamasında mutlaka dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde, çalışmanın amacı veya kapsamının yeniden düzenlenmesi gerekebilir [ISO 14040, 2006], [Crawford, 2011].

2.2.3 Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED), YDE sırasında elde edilen girdi ve çıktı verilerini, olası çevresel etki kategorileriyle bağdaştırarak bu etkilerin büyüklüğünü belirleyen kritik bir aşamadır. Bu aşama, ham envanter verilerini anlamlı çevresel bilgiler haline getirir. YDED için gerekenler iki ana başlık altında toplanır

(Şekil 2.4): zorunlu ve isteğe bağlı unsurlar. Zorunlu unsurlar, etki kategorilerinin seçilmesi, sınıflandırma ve karakterizasyon adımlarını içerirken; normleştirme, gruptama ve ağırlıklandırma ise isteğe bağlı unsurlardır. [ISO 14040, 2006].

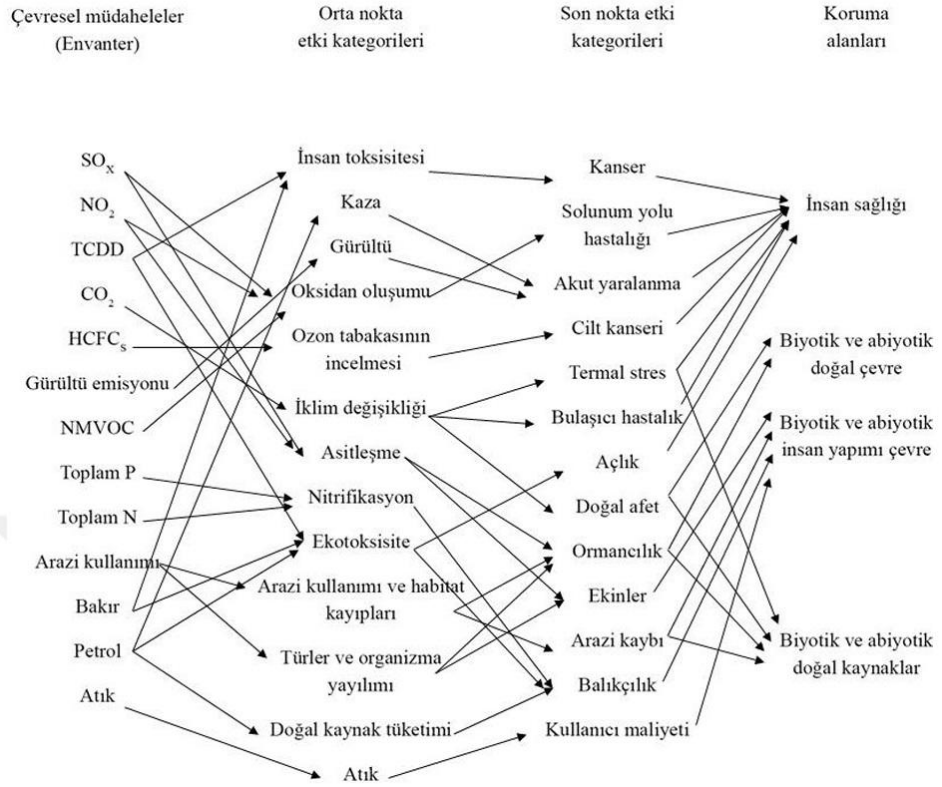


Şekil 2.4: YDED aşamasının unsurları [ISO 14040, 2006].

YDED için uygulanabilecek çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler, çeşitli metodolojiler temel alınarak geliştirilmeye devam edilmektedir. YDED yöntemlerinde çevresel etkilerin sınıflandırılması ve değerlendirilmesi amacıyla iki ana yaklaşım kullanılmaktadır: problem odaklı yaklaşım (orta nokta) ve hasar odaklı yaklaşım (son nokta). Bu iki ana yaklaşım dışında ayrıca orta nokta ve son nokta yaklaşımlarını birleştiren metodolojiler ve diğer YDD tabanlı metodolojiler de bulunmaktadır. **Tablo 2.2'**de bu metodolojilerden bazıları gösterilmektedir.

Tablo 2.2: YDED için kullanılan metodoloji örnekleri [Menoufi, 2011].

Orta nokta yaklaşımli metodolojiler	Son nokta yaklaşımli metodolojiler	Orta nokta ve son nokta yaklaşımını birleştiren metodolojiler	Diğer YDD tabanlı metodolojiler
CML EDIP 2003 TRACI	Eco Indicator 99 EPS 2000 Eco Scarcity method (Eco points) JEPIX	RECIPE LIME Impact 2002+ LUCAS	MEEup BEES Ecological footprints USEtox EDP IPCC Cumulative Energy Demand Cumulative Exergy Demand Emergy Analysis Cumulative Exergy Consumption CEENE



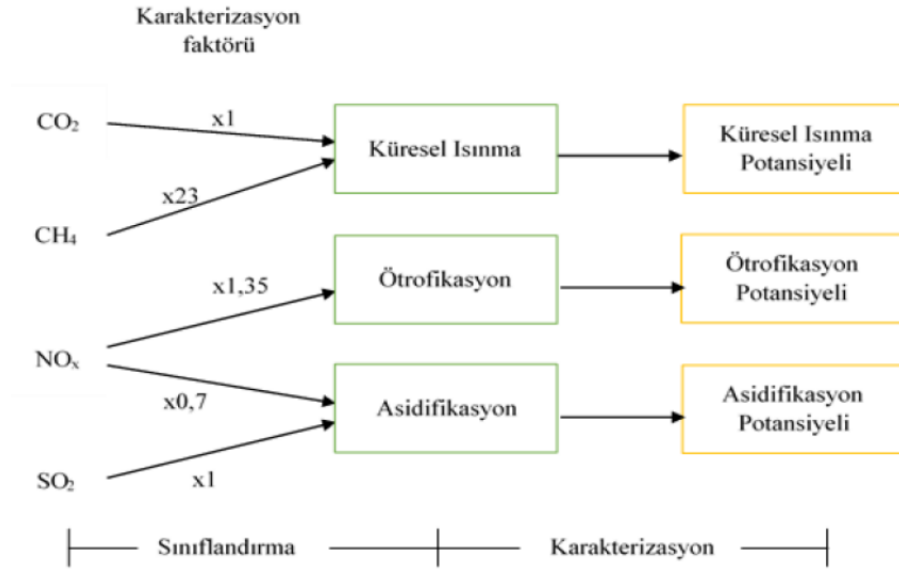
Şekil 2.5: Orta nokta ve son nokta etki kategorileri ile koruma alanları arasındaki örnek bağlantılar [Curran, 2015], [Barutçu, 2020].

Probleme dayalı yaklaşımda, çevresel akışlar katkı sağladıkları etki kategorileri doğrultusunda belirli gruplara ayrılarak analiz edilmektedir. Bu yaklaşımı temel alan başlıca iki yöntem, Hollanda’da Leiden Üniversitesi Çevre Araştırmaları Merkezi tarafından geliştirilen CML yöntemi ile ABD Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından oluşturulan TRACI (The Tool for the Reduction and Assessment of

Chemical and other Environmental Impacts) yöntemidir. Bu iki yöntemde de bini aşkın madde, çevresel etki kategorilerine olan katkı düzeyleri esas alınarak sınıflandırılmış ve nitelendirilmiştir.

Hasar odaklı yaklaşımda, sistemde yer alan akışlar farklı çevresel etki kategorilerine ayrılarak değerlendirilir ve bu kategoriler, insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynaklar üzerindeki potansiyel zarar düzeylerine göre çeşitli son nokta (endpoint) kategorileri altında toplanır. Bu yaklaşım, tüm çevresel etkilerin tek bir birim üzerinden ifade edilmesine olanak tanıyan bir değerlendirme yöntemidir. İsveçli ve Hollandalı YDD uzmanları tarafından geliştirilen EcoIndicator 99 yöntemi, hasar odaklı yaklaşımın önde gelen örneklerinden biridir. Bu yöntemde kullanılan son noktaların yorumlanması ve sonuçların iletilmesi oldukça kolaydır.

- Etki kategorilerinin seçilmesi: Etki değerlendirme analizinin başlangıcı, çalışmanın amaç ve kapsam tanımıyla uyumlu etki kategorilerinin seçimidir. Bu aşamada, çevresel etkiler tanımlanır **[Margni ve Curran, 2012]**. YDD'deki etki kategorilerinin sayısı, gerçekleştirilen projenin veya analizin kapsamına göre farklılık gösterir. Bu kategoriler, çevresel etkilerin çeşitli boyutlarını temsil etmek üzere seçilir. Örnek olarak; iklim değişikliği, kaynak tüketimi, asitleşme, ötrofikasyon, insan sağlığı, su tüketimi ve toprak erozyonu gibi kategoriler sayılabilir. Her projenin kendine özgü hedefleri ve kapsamı olduğundan, bu listenin ihtiyaçlar doğrultusunda genişletilmesi veya daraltılması mümkündür. Dolayısıyla, YDD etki kategorilerinin sayısı, analizin detay seviyesine bağlıdır ve projeye özel olarak belirlenir.
- Sınıflandırma (Tasnif): YDE sonuçlarının sınıflandırılması, kullanılan emisyonların, atıkların ve kaynakların belirlenmiş etki kategorilerine atanması sürecidir. Bu, envanter analizi verilerinin, ilgili çevresel etki kategorileri altında toplanması ve sınıflandırılması sürecini tanımlar **[UNEP, 2003], [Ortiz vd., 2009]**. Eğer bir madde birden fazla etki kategorisine katkı sağlıyorsa, o madde herhangi bir ayrıma tabi tutulmadan bu kategorilerin tümüne atanır **[ISO 14040, 2006]**.
- Karakterizasyon (Nitelendirme-/Kategori gösterge sonuçlarının hesaplanması): Karakterizasyon faktörleri (eşdeğerlilik faktörleri), YDED sonuçlarını, çevresel etkilerin daha temsili göstergelerine dönüştürmeyi sağlar. Envanter verileri bu faktörlerle çarpıldığında, etki göstergelerine ulaşılır ve böylece sonuçlar doğrudan karşılaştırılabilir hale gelir **[Curran, 2006]**. **Şekil 2.6**'da, emisyonların sınıflandırılması ve karakterizasyonu örneklendirilmiştir.



Şekil 2.6: Emisyonların sınıflandırılması ve karakterizasyonu [Klopffer ve Curran, 2017], [Sönmez, 2019].

- **Normalleştirme:** Normalleştirme, elde edilen gösterge sonuçlarının birbirlerine göre önemini ve büyüklüğünü kavramak için yapılır. Bu işlemde, kategori gösterge sonuçları belirlenmiş referans değerlere bölünerek yeni sonuçlar elde edilir ve böylece birimler eşitlenir [ISO 14044, 2006].
- **Gruplandırma:** Gruplandırma adımı, etki kategorileri, sonuçların daha iyi değerlendirilebilmesi amacıyla bir veya birden fazla başlık altında toplanır. Bu, örneğin göstergelerin konuma göre (yerel, bölgesel veya küresel bazda) sınıflandırılması şeklinde olabilir [ISO 14044, 2006], [Demirer, 2011].
- **Ağırlıklandırma (Önem Belirleme):** Bu aşama, farklı etki kategorilerinin değer seçimlerine dayalı sayısal faktörler kullanılarak gösterge sonuçlarına dönüştürülmesidir [ISO 14044, 2006]. Örneğin, su tüketimi ve su kaynaklarının tükenmesi, kaynağın kıt olduğu bölgelerde ciddi bir endişe kaynağı olabilirken, bol su bulunan yerlerde aynı derecede önemli görülmebilir. Bu durum, aynı gösterge sonuçlarına rağmen farklı toplulukların farklı değerlendirmelere ulaşmasının oldukça muhtemel olduğunu gösterir [Crawford, 2011].
- **YDED sonuçlarını değerlendirme ve raporlandırma:** Verilerin doğruluğu, belirlenen amaç ve kapsamla uyumlu olmalı ve tüm süreç titizlikle belgelenmelidir.

YDD, sistematik bir yöntem olmasına rağmen, yapılan tercihler nedeniyle belirli öznellikler içerebilir [ISO 14044, 2006], [Demirer, 2011].

2.2.4 Yorumlama

Yorumlama aşaması, YDD sürecinde kilit bir noktadır. Bu adımda, veri analizinden ve etki değerlendirmesinden elde edilen bulgular, çalışmanın belirlenen amacı ve kapsamı doğrultusunda incelenir. Sonuçların bu aşamada açık ve anlaşılır bir şekilde sunulması büyük önem taşır (ISO 14040, 2006).

Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı (ISO), yaşam döngüsü yorumlamasının üç temel unsurunu şu şekilde belirtir [ISO 14044, 2006]:

- **Önemli Unsurların Tanımlanması:** YDE ve YDED aşamalarından elde edilen kritik noktaların belirlenmesi.
- **Sonuçların Değerlendirilmesi:** Bütünlük, hassasiyet ve tutarlılık ilkeleri doğrultusunda elde edilen sonuçların dikkatli bir şekilde incelenmesi.
- **Değerlendirmeye Dayalı Çıkarımlar:** Yapılan değerlendirmeden hareketle sonuçların, çalışmanın sınırlılıklarının ve geleceğe yönelik önerilerin sunulması.

2.3 Kampüslerde Yapılan YDD Çalışmaları

Zaman içerisinde farklı bağlam ve ölçeklerde yürütülen çok sayıda YDD çalışmaları bulunmaktadır. İncelemeler, farklı yaşam döngüsü evrelerine veya farklı yapısal sistemlere odaklanmıştır. Bununla beraber, Jürgens ve arkadaşları (2023) yaptıkları çalışmada, kampüslerde yapılan YDD çalışmalarının birçoğunun yalnızca sera gazı emisyonlarına odaklandığını, ISO 14040/44 standartlarını tam olarak uygulamadığını ve sistem sınırlarının tutarsız olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, binaların kullanım aşaması genellikle enerji ve su tüketimi şeklinde ele alınırken, yapı malzemelerinin üretimi, inşaat aşaması ve kullanım ömrü sonu gibi diğer süreçlerin çevresel etkilerinin nadiren dikkate alındığı, bunların yaşam döngüsü envanterine dâhil edilmesinin zorlu olarak değerlendirildiğini belirtmişlerdir [Jürgens vd., 2023].

Xue ve arkadaşları çalışmasında, Çin'in kuzeyindeki bir üniversiteye ait öğretim binasının çevresel ve ekonomik etkileri, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) ve Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (LCC) yöntemlerinin entegre edildiği bir modelle

incelenmiştir. Analizlerde GaBi 8.7.1.30 yazılımı, Professional+Extension veri tabanı, AHP ve sosyal ödeme istekliliği (WTP) yöntemleri kullanılmış; sistem sınırları kapıdan kapıya, fonksiyonel birim 1 m² olarak tanımlanmıştır. Beş etki kategorisi (GWP, AP, EP, POCP, ADP-fosil) değerlendirilmiş ve sonuçlarda en büyük çevresel ve ekonomik etkilerin kullanım aşamasında elektrik tüketiminden kaynaklandığı belirlenmiştir. İnşaat aşamasında ise çelik üretimi en yüksek etkiyi yaratmıştır. Genel olarak ADP-fosil ve GWP en baskın etkiler olup, çalışmada çevresel etkilerin azaltılması için yenilenebilir enerji kullanımı ve malzeme seçiminin optimize edilmesi önerilmiştir [**Xue vd., 2019**].

Dağlıoğlu (2021), Ege Üniversitesi'nin 2016 yılı karbon ayak izini YDD temelli ISO 14064/1-2 standartlarına göre hesaplamıştır. Çalışmada Kapsam 1, 2 ve 3 emisyonları değerlendirilmiş; toplam 40.608 ton CO₂ eq salım tespit edilmiştir. Emisyonların %39'u elektrik, %37'si sabit/mobil yanma, %24'ü ulaşım ve seyahat kaynaklıdır. Fonksiyonel birim kişi başına 0,55 ton CO₂ eq olarak hesaplanmıştır. Çalışma, üniversitelerde enerji verimliliği, toplu ulaşım, farkındalık ve yenilenebilir enerji politikalarının önemini vurgulamaktadır [**Dağlıoğlu, 2021**].

Genç (2021) çalışmasında İTÜ Sarıyer Kampüs Yemekhanesinin çevresel etkilerini YDD yöntemiyle değerlendirmiştir. Analizlerde GaBi 7.3 yazılımı, Ecoinvent 3.1 veri tabanı ve CML 2001 metodu kullanılmış; 10 etki kategorisi (GWP, AP, EP, POCP, ADP, ODP, Tatlı Su Ekotoksitesitesi, İnsan Toksisitesi, Deniz Ekotoksitesitesi, Karasal Ekotoksitesite) incelenmiştir. Sistem sınırları kapıdan kapıya belirlenmiş, fonksiyonel birim "1000 servis" olarak tanımlanmıştır. Sonuçlara göre en büyük etki elektrik tüketiminden kaynaklanmış; rüzgâr enerjisi, su tasarrufu ve atık geri dönüşüm senaryoları çevresel etkileri %50'nin üzerinde azaltmıştır [**Genç, 2019**].

Şenöztop (2023) çalışmasında İzmir Ekonomi Üniversitesi Balçova Kampüsü'nün karbon ayak izini YDD yöntemiyle hesaplamış ve bütçe optimizasyonu temelli enerji verimliliği stratejileri geliştirmiştir. Analizlerde CCaLC2 yazılımı, Ecoinvent 2 veri tabanı ve CML2001 metodu kullanılmıştır. Kampüsün yıllık emisyonu 3.630.803 kg CO_{2e} olup, bunun %75,7'si elektrik tüketiminden kaynaklanmıştır. Emisyon azaltımı için fotovoltaik paneller, yağmur suyu hasadı ve atık depozito sistemleri önerilmiş; YDD ve maliyet optimizasyonu birlikte kullanılarak kampüsler için karar destek modeli geliştirilmiştir [**Şenöztop, 2021**].

Kas (2023) tarafından hazırlanan tez, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mimarlık Binası (M1 Blok) çatı tadilatına yönelik farklı malzeme kombinasyonlarını YDD ve YDMA yöntemleriyle karşılaştırmıştır. Analizler Athena Impact Estimator for Buildings yazılımı ve TRACI metodu ile yapılmıştır. GWP, AP, EP, ODP, POCP, enerji tüketimi gibi göstergeler değerlendirilmiş, sistem sınırları A1–A5 aşamalarıyla sınırlanmıştır. Sonuçlar, çevresel etkisi düşük ve ekonomik olarak uygun malzeme kombinasyonlarının belirlenmesinde YDD–YDMA bütünleşmesinin etkinliğini göstermiştir [Yüksel Kas, 2023].

Cabbar (2024), Sakarya Üniversitesi kampüsünde sıfır atık yönetim sisteminin çevresel etkilerini Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) yöntemiyle incelemiştir. Analizler SimaPro 9.5.0.2 yazılımı ve CML–IA yöntemiyle yürütülmüş, 11 etki kategorisi (GWP, ODP, AP, EP, POCP, ADP, insan toksisitesi, tatlı su ekotoksitesite, deniz suyu ekotoksitesite, karasal ekotoksitesite) değerlendirilmiştir. Sistem sınırları “beşikten mezara” yaklaşımıyla belirlenmiş, atık toplama, taşıma, geri dönüşüm, yakma ve depolama süreçleri incelenmiştir. Analiz kampüsün bir yıllık atık yönetimi üzerinden yapılmış; fonksiyonel birim “bir yıl boyunca yönetilen toplam atık miktarı” olarak tanımlanmıştır. Sonuçlara göre, çevresel etkilerin %95,4’ü düzenli depolamadan kaynaklanmıştır [Cabbar, 2024].

Gülcimen ve arkadaşları (2023), Abdullah Gül Üniversitesi Sümer Kampüsü’nün çevresel, ekonomik ve sosyal performansını Yaşam Döngüsü Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi (LCSA) kapsamında analiz etmiştir. E-LCA, LCC ve S-LCA yaklaşımları birlikte uygulanmış; çevresel analiz SimaPro 8.4.1, IPCC 2013 GWP 100a ve CED v1.09 yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Kapsam kapıdan kapıya (B6 aşaması) sınırlanmış olup, fonksiyonel birim kişi başına düşen emisyon ve enerji tüketimi olarak tanımlanmıştır. Sonuçlara göre kampüsün GWP değeri 2.92 tCO₂e/kişi, CED değeri 15.4 GJ/kişi bulunmuş, enerji tüketimi toplam etkinin %98,8’ini oluşturmuştur [Gülcimen vd., 2023].

2.4 Gömülü Karbon ve Gömülü Enerji

Gömülü karbon (Embodied Carbon), bir binanın veya altyapının tüm yaşam döngüsü boyunca, işletme aşaması dışındaki malzeme ve inşaat süreçleriyle ilişkili sera gazı (GHG) emisyonlarının toplamını ifade etmektedir. Bu kapsam, yapı malzemelerinin

hammaddelerinin çıkarılması, işlenmesi, üretimi, nakliyesi, inşaatı, bakımı, tadilatı ve kullanım ömrü sonu süreçlerini içermektedir **[Hammond vd., 2011]**.

Gömülü karbonu anlamak için öncelikle sera gazlarını incelemek gerekir. Sera gazları, atmosferde ısıyı emip geri yansıtan, bu yolla da Dünya atmosferini olması gerekenden daha sıcak tutarak sera etkisine ve küresel ısınmaya neden olan gazlardır. Bu durumun doğal sonucu olarak da iklim değişiklikleri meydana gelir.

Küresel Isınma Potansiyeli (GWP), sera gazlarının atmosferde 100 yıllık bir süreçte yol açtığı ısınma miktarını ifade eder. Karbondioksit (CO_2) için GWP değeri 1 kabul edilir; diğer gazların değerleri, karbondioksitin neden olduğu ısınma miktarına göre belirlenir. Örneğin, metan gazının küresel ısınma potansiyeli karbondioksitten 25 kat daha yüksektir.

İnsan faaliyetleri sonucu atmosfere en çok salınan gaz karbondioksittir. Bu nedenle bazen tüm sera gazlarının etkilerini ifade etmek için karbondioksit terimi kullanılsa da bu durum literatürde kafa karışıklıklarına yol açabilir. Bilim insanları bu sorunu aşmak için, diğer sera gazlarının etkilerini de dahil ederek "karbondioksit eşdeğeri (CO_2 eq)" birimini oluşturmuştur. CO_2 eq, farklı sera gazlarını tek bir ortak birimde ifade etmek için kullanılır. Bir miktar sera gazı, kendi GWP değeriyle çarpılarak CO_2 eq olarak tanımlanır. Örneğin, 1 kilogram metan salımı, 25 kilogram CO_2 eq olarak ifade edilebilir **[Brander, 2012]**.

Gömülü karbonu azaltmanın etkili yolları şunlardır:

- Geri dönüştürülmüş malzemelerin tercih edilmesi.
- Karbon tutma kapasitesi olan malzemelerin kullanılması.
- Düşük karbonlu enerjiyle üretilen ve işlenen malzemelerin seçilmesi.
- Nakliye kaynaklı emisyonları engellemek amacıyla yerel malzemelerin tedarik edilmesi **[Ebrahimi, 2020]**.

Gömülü enerji, bir ürünün veya hizmetin tüm üretim süreçlerinde tüketilen toplam enerjiyi tanımlayan temel bir kavramdır. Yapı sektöründe bu; yapı malzemelerinin ham madde elde etme, işleme, üretim, şantiye nakliyesi ve yapının inşaatı gibi kullanımdan önceki tüm faaliyetleri kapsar **[Hammond vd., 2011]**.

Literatürde gömülü enerji kavramı iki temel şekilde açıklanır. Bir tanım, gömülü enerjiyi bir yapının inşaatı için harcanan enerji olarak sınırlı tutar. Daha kapsamlı olan

diğer tanım ise, gömülü enerjinin bir yapının inşası, bakımı ve nihayetinde yıkımı için kullanılan toplam enerji olduğunu belirtir. Bu geniş perspektife göre, gömülü enerji; ilk (üretim ve inşaat), yinelenen (bakım) ve yıkım (bertaraf) süreçlerindeki gömülü enerjilerin toplamından oluşur [Yohanis and Norton, 2002].

İlk gömülü enerji, bir yapının kullanıma alınmasından önceki süreçlerde harcanan enerjiyi kapsar. Bu, hammadde çıkarımından başlayıp, ürün ve bileşenlerin üretimi, nakliyesi ve nihai olarak yapının inşası için tüketilen enerjinin tamamını içerir. Özetle, yapının işler hale gelmeden önceki enerji ayak izidir. Yinelenen gömülü enerji, yapının kullanım süresi boyunca ortaya çıkan bakım, onarım ve malzeme/bileşen değişimleri için gereken enerjidir. Bu enerjinin miktarı, yapının kullanım şekli, bakım ihtiyaçları, hizmet ömrü ve kullanılan malzemelerin dayanıklılığı gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Yıkım gömülü enerjisi, yapının hizmet ömrü sonunda yıkılması, ortaya çıkan atıkların bertaraf edilmesi (çöp sahasına taşıma veya yakma) ve geri dönüştürülebilir bileşenlerin işlenmesi için harcanan enerjidir. Ancak, bu kategorideki veri eksiklikleri nedeniyle, yıkım gömülü enerjisi genellikle belirsiz bir bileşendir ve toplam yaşam döngüsü enerji tüketimi içindeki payı oldukça düşüktür [Azari and Abbasabadi, 2018].

Uluslararası akademik çalışmalar ve enerji sektörü profesyonelleri arasında enerji kavramı genellikle "kullanım (operasyonel) enerjisi" olarak algılanmıştır. Ancak, yaşam döngüsü boyunca enerji tüketiminin diğer önemli bir bileşeni olan "gömülü enerji" büyük ölçüde göz ardı edilmiştir. Son yıllarda, özellikle yüksek performanslı binalarda uygulanan kullanım enerjisi verimliliği stratejilerinin çoğu, daha fazla gömülü enerji kullanımı gerektirmektedir. Bu durum, gömülü enerji kavramının önemini giderek artırmakta ve bu konuyu birçok araştırmanın merkezine taşımaktadır [Azari ve Abbasabadi, 2018].

Çeşitli ürün ve malzemeler arasında gömülü enerji değerleri farklılık gösterir. Genel bir ilke olarak, bir malzeme işlendikçe, içerdiği gömülü enerji miktarı artma eğilimindedir [Koç vd., 2022].

2.5 Kullanım Enerjisi

Kullanım (operational) enerjisi, nihai kullanıcının iç ortam konfor şartlarını oluşturmaya yönelik, yapıların başta ısıtma, soğutma gibi iklimlendirilmesinde,

aydınlatılmasında, enerji gerektiren araç-gereçlerin çalıştırılmasında tüketilen enerji olarak tanımlanmaktadır. Bu, bir binanın veya ürünün "işletme" aşamasındaki doğrudan enerji tüketimidir [TS EN 15978, 2012].

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. Yaşam döngüsü enerji tasarruflarının, yapıda kullanılan pasif ve aktif enerji tasarrufu önlemlerinin derecesi ve sayısı ile orantılı olarak operasyonel enerjide azalma meydana gelmektedir. Ancak, bir yapıda pasif ve aktif özelliklerin aşırı kullanımı gömülü enerji payındaki artışla sonuçlanabilir [Ramesh et al., 2010].

2.6 YDD Araçlarının Karşılaştırmalı Analizi ve “One Click LCA” Aracı

YDD, günümüzde ürünlerin, hizmetlerin veya işlemlerin potansiyel çevresel etkilerini değerlendirmek için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Çevresel süreçlerin genellikle çok karmaşık olması bir YDD gerçekleştirmeyi zorlaştırır. Ayrıca, YDD yöntemi genellikle veri yoğundur. Bu nedenle, bilgisayarlar ve yazılım araçları, kullanıcıların bu miktardaki veriyi yönetmesini ve düzenlemesini desteklemek için kullanılır [Unger vd., 2004].

YDD yöntemini gerçekleştirmek için özel yazılım araçlarına ihtiyaç vardır ve bu araçlar kullanıcı dostu olmaları, kapsamlılıkları ya da dahil edilen veri tabanları bakımından birbirleriyle farklılık gösterebilirler. Bu bağlamda, kullanıcının hangi yazılım aracını seçtiğine bağlı olarak farklı YDD sonuçları oluşabilir [Silva vd., 2017]. YDD yazılımı ayrıca modellenen senaryonun istenen biçimde yapılandırılmasını, sonuçların farklı tekniklerle sunulmasını ve analiz edilmesini kolaylaştırır. Fakat bu araçlar özellikle bina değerlendirmeleri yapmak için geliştirilmiş olsa dahi maliyet, kullanıcı dostu olma, veri kalitesi, şeffaflık düzeyi, ulaşılabilirlik ve YDD sonuçlarının sunumu gibi önemli özellikler bakımından farklılaşabilir.

Literatürde, çeşitli yazılım araçlarıyla yürütülmüş YDD sonuçlarını ve çeşitli yazılım araçlarının farklılıklarını karşılaştıran bazı çalışmalar yer almaktadır. Herrmann ve Moltesen (2015) yazılım performanslarını, 100 birim işlemde oluşan rastgele bir

örneğe dayalı olarak karşılaştırmıştır. Çoğu durumda sonuçlar tamamen aynı veya çok yakın olmasına rağmen bu çalışma hem envanter düzeyinde hem de çevresel etki değerlendirmesinde farklılıklar olduğunu göstermiştir. Çalışmada bu farklılıkların bazılarının özellikle etki değerlendirmesi için önemli derecede büyük olduğu ve bir YDD çalışmasının sonuçlarını etkileyebileceği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda bu farklılıkların öncelikle çalışmada kullanılan SimaPro ve GaBi YDD araçlarının veri tabanlarındaki farklılıklardan veya hatalardan kaynaklandığı vurgulanmıştır **[Herrmann ve Moltesen, 2015]**. Silva ve diğ. (2019), aynı üretim sisteminde farklı YDD yazılım araçları kullanılarak farklı YDD sonuçlarına ulaşılabileceğini göstermeyi amaçlamıştır. Bu amaçla bir neden-sonuç analizi gerçekleştirmiştir ve iki temel neden belirlemiştir. Bunlar; arka plan veri kümeleri için içe aktarma süreci ve yazılım araçlarında Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED) yöntemlerinin uygulanmasına yönelik kural eksikliğidir. Bu tür temel nedenlerle başa çıkmak için YDED yöntemlerinin Evrensel YDD Veri Ağına (GLAD) dahil edilerek tüm yazılım aracı veri tabanlarının buradan güncellenmesi önerilmiştir. Çalışmada bu şekilde, en azından YDD sonuçlarındaki tutarsızlıkları azaltmaya yardımcı olunacağı belirtilmiştir **[Silva vd., 2019]**, **[Web 4, 2025]**. Aygenç (2019), LEED sertifikalı bir ofis binası için YDD yöntemi kullanarak One Click LCA ve SimaPro yazılım araçlarını karşılaştırmıştır. Sonuçların birbirinden çok farklı olmadığı ve karşılaştırılabilir olduğu görülmüştür. Farklılıkların, sistem sınırlarındaki bazı farklar, veri kullanılabilirliği ve programlardaki veri seçimi gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir. One Click LCA aracının daha ticari amaçlarla YDD yapmaya olanak sağladığı için yeşil bina derecelendirme sistemlerinin gerekliliklerine daha uygun, daha hızlı, kullanıcı dostu, müşteri dostu ve güncel olduğu belirtilmiştir **[Aygenç, 2019]**.

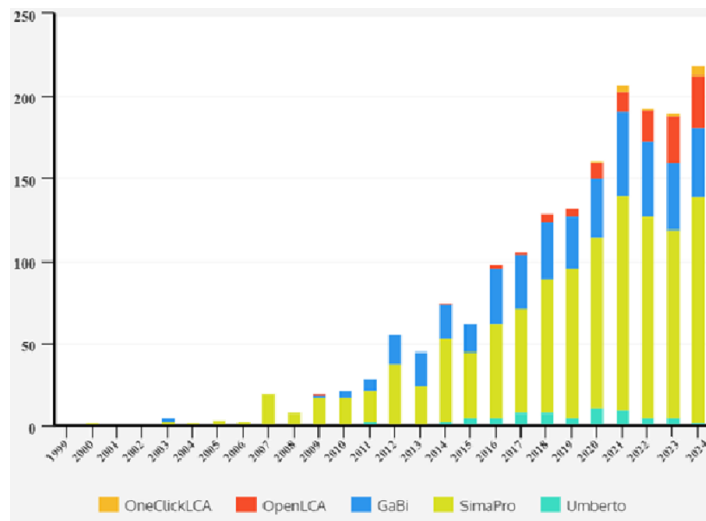
Kullanıcı, sağlıklı bir YDD uygulayabilmek için amacına yönelik yazılım aracının seçimi sırasında aracın özelliklerinin farkında olmalıdır. Ancak bu özellikleri belirlemek endüstrinin farklı kollarından kullanıcılar için zaman kaybına yol açabilir. Bu nedenle, YDD yazılım araçları hakkında literatürde yayınlanmış karşılaştırma çalışmaları ve farklı kapsamlarda yapılmış değerlendirmeler yeni kullanıcılar ve yazılım geliştiriciler için faydalı olabilir.

2.6.1 Yaygın Olarak Kullanılan YDD Araçları

90'lı yıllardan başlayarak farklı YDD yazılım araçlarını değerlendiren birçok çalışma yapılmıştır [Hendrickson vd., 1997]. Silva ve diğ. 2017 ve 2019 yıllarında yaptığı çalışmalarında başlıca güncel yazılım araçlarını; SimaPro, Gabi, Umberto ve openLCA olarak değerlendirmiştir [Silva vd., 2017], [Silva vd., 2019]. Yapılan bu çalışmada ise yaygın kullanıma sahip bu YDD araçlarına ek olarak literatürde diğerlerine göre nispeten daha az sayıda çalışma bulunan, yeni, hızlı, kullanıcı dostu ve güncellemeye açık bir yazılım aracı olan One Click LCA incelenmiştir.

Çalışma kapsamında incelemeye alınan ilk yazılım aracı AB ülkelerinin bazılarında yaygın olarak kullanılan ve dünya genelinde de artan bir kullanıma sahip olan One Click LCA'dır. İkinci örnek YDD uygulayıcıları ve araştırmacıları tarafından kullanılan kapsamlı ve açık erişimli OpenLCA'dır. İncelemeye alınan diğer üç yazılım aracı ise hem yaygın olarak kullanılan hem de farklı ülkelerde tanınan kapsamlı YDD araçları olan GaBi, SimaPro ve Umberto'dur. GaBi, geniş veri kapsamı ve sektördeki araştırmalardaki uygulama geçmişi nedeniyle bu çalışmanın kapsamına dahil edilmiştir.

Şekil 2.7'de çalışma kapsamında ele alınan beş YDD yazılım aracıyla ilgili bilimsel yayınların zaman içindeki gelişimi gösterilmiştir. Veriler, Ocak 2025'e kadar yayınlanan ve "Web of Science (WoS)" veri tabanında bulunan yayınlardan elde edilmiştir.



Şekil 2.7: İncelenen yazılım araçlarının kullanımına odaklanan Web of Science veri tabanındaki YDD yayınlarının yıllık sayısı.

SimaPro YDD aracı bilimsel çalışmalarda en çok kullanılan yazılım aracıdır ve bu çalışmalar son 10 yılda neredeyse 2,5 kat artmıştır. GaBi, ilk olarak 1997 yılında bir YDD çalışmasında değerlendirilmiştir, aynı zamanda en çok bilimsel yayında kullanılan ikinci YDD yazılım aracıdır. Bu yazılımları sırasıyla Umberto ve openLCA takip etmektedir. Son olarak, WoS veri tabanındaki YDD çalışmaları açısından One Click LCA'nın yeni bir yazılım aracı olduğu söylenebilmektedir.

2.6.2 YDD Araçlarının Karşılaştırmalı Analizi

Bu çalışmada incelenen YDD yazılım araçları belirlenen kriterler esas alınarak envanter analizi, YDED, yorumlama evresi gibi YDD yöntemi evreleri ve yazılımların özellikleri açısından incelenmiştir. OpenLCA ücretsiz ve açık erişimli bir yazılım aracıdır, diğer araçlar ise ücretsiz deneme sürümlerine sahip olmasına karşın kullanıcılar tarafından caydırıcı olabilecek bir yatırım maliyeti gerektirir. Umberto, bireysel veri setlerinin içe veya dışa aktarılmasına izin vermez ve mevcut veri seti biçimlerinin sayısı sınırlıdır [Silva vd., 2017]. Bunun yanı sıra Umberto ve OpenLCA diğer yazılımların aksine kullanıcılarına web tabanlı kullanım olanağı, One Click LCA ise bilgisayara veya sunucuya yüklenebilme olanağı sunmamaktadır. Ayrıca, yazılım araçları belirsizlik ve duyarlılık analizleri ile YDD sonuçlarının sunumu kriterleri, normleştirme ve ağırlıklandırma faktörlerinin mevcudluğu açısından da farklılaşmaktadır [Silva vd., 2017], [De Wolf vd., 2020]. Kullanılan veri tabanı ve ÇÜB oluşturma imkânı ise çalışma kapsamında değerlendirilen diğer önemli kriterlerdir.

Tablo 2.3: YDD araçlarının yazılım özellikleri açısından karşılaştırmalı analizi.

KARŞILAŞTIRMA KRİTERİ YDD ARACI	Yazılım Özellikleri				
	Hedef pazar	Ulaşılabilirlik	Desteklenen diller	Maliyet	Kullanıcılar için eğitim ve destek olanakları
One Click LCA, Almanya https://www.oneclicklca.com/	AB, ABD ve diğerleri	Web arayüzü	Almanca, Fransızca, İngilizce ve Fince	Ücretli, deneme sürümü mevcut. Öğrenci lisansı mevcut. Öğrenci lisansı sadece bina YDD projeleri için geçerlidir; ürün YDD ve ÇÜB araçları bu lisansa dahil değildir.	Satış sonrası destek (örn. yardım masası), otomatik yazılım ve veri tabanı güncellemeleri, e-posta ve web sitesi yoluyla teknik destek, kılavuzlar ve video eğitimleri, SSS ve forum

Tablo 2.3.: Devam.

OpenLCA, Almanya https://www.openlca.org/	Almanya & diğer	Bir bilgisayara/ sunucuya yüklenilebilir yazılım	Arapça, Bulgarca, Katalanca, Çince, İngilizce, Fransızca, Almanca, Macarca, İtalyanca, Portekizce, İspanyolca, Türkçe	Ücretsiz. GaBi ve Ecoinvent gibi veri tabanları ücretlidir.	Satış sonrası destek (örn. yardım masası), otomatik yazılım ve veri tabanı güncellemeleri, e- posta ve web sitesi yoluyla teknik destek, kılavuzlar ve video eğitimi, SSS ve forum
GaBi, Almanya https://sphaera.com/product-sustainability-software/	Almanya & diğer	Web arayüzü ve Bir bilgisayara/sunucuya yüklenilebilir yazılım GaBi Masaüstü, GaBi Sunucusu + çevrimiçi uzantılar	İngilizce, Fransızca, İspanyolca, Japonca, İtalyanca, Almanca	Ücretli, deneme sürümü mevcut. Öğrenci lisansı mevcut. Üniversite e-posta adresine kayıt yaparak başvurulabilir. Sınırlı veri tabanları içerir (örneğin tam ecoinvent verisini bulundurmaz).	Satış sonrası destek (örn. yardım masası), otomatik yazılım ve veri tabanı güncellemeleri, e- posta ve web sitesi yoluyla teknik destek, kılavuzlar ve video eğitimi, SSS ve forum
SimaPro, Hollanda https://pre-sustainability.com/	Hollanda & diğer	Web arayüzü ve Bir bilgisayara/sunucuya yüklenilebilir yazılım	İngilizce, Çince, Danca, Felemenkçe, Fransızca, Almanca, İtalyanca, Japonca, Portekizce, İspanyolca, İsveççe	Ücretli, deneme sürümü mevcut. Bireysel öğrenci lisansı doğrudan sunulmaz, ancak proje bazlı akademik kullanım için üniversitenin geliştirici (PRé) ile iletişime geçmesi gerekir.	Satış sonrası destek (örn. yardım masası), veri tabanı güncel- lemeleri, e-posta ile teknik destek, kılavuzlar ve eğitimler, SSS ve forum.
Umberto, Almanya https://www.ifu.com/umberto/	Almanya & diğer	Bir bilgisayara/ sunucuya yüklenilebilir yazılım	Almanca ve İngilizce	Ücretli, deneme sürümü mevcut. Danışman öğretim üyeleri aracılığıyla veya bireysel başvuru ile eğitim amaçlı lisans sağlanabilir. Not: Lisans süresi bir dönemle sınırlıdır.	Satış sonrası destek (örn. yardım masası), veri tabanı güncel- lemeleri, e-posta ile teknik destek, kılavuzlar ve eğitimler, SSS ve forum.

Tablo 2.4: YDD araçlarının YDE açısından karşılaştırmalı analizi.

YDD ARACI	KARŞILAŞTIRMA KRİTERİ	Envanter Analizi			
	Veri kalitesi	Şeffaflık ve doğrulama	Kullanılan veri tabanı	Veri alışverişi	Diğer ilgili hususlar
One Click LCA, Almanya https://www.oneclicklca.com/	Veri girişinin kalitesinin güvenilirlik değerlendirmesi Belirsizlik analizi (örn. sonuçların değişkenliğinin kontrolü) Senaryo analizi (örn. alternatif seçeneklerin kontrolü)	Bilgi kaynakları, temel veriler ve modelleme varsayımları izlenebilir ve doğrulanabilir veya yazılımın içinde ayrıntılı olarak belgelenmiştir (veriler birim süreç düzeyinde mevcuttur ve erişilebilirdir)	Değişen kapsamlara sahip farklı araçlar https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/documentation/data base/ .	Tasarım ve YDD bilgilerin in içe/dışa aktarım aşısı mümkün	IMPACT veya Ecoinvent gibi bazı ticari veri tabanları belirli bir lisansa tabi olarak mevcuttur.

Tablo 2.4: Devam.

OpenLCA, Almanya https://www.openlca.org/	Veri girişinin kalitesinin güvenilirlik değerlendirmesi Duyarlılık analizi (örn. parametrelerin ve veri setlerinin sonuçlar üzerindeki etkisinin kontrolü) Belirsizlik analizi (örn. sonuçların değişkenliğinin kontrolü) (örn. Monte Carlo) Senaryo analizi (örn. alternatif seçeneklerin kontrolü)	Bilgi kaynakları, temel veriler ve modelleme varsayımları izlenebilir ve doğrulanabilir veya yazılımın içinde ayrıntılı olarak belgelenmiştir (veriler birim süreç düzeyinde mevcuttur ve erişilebilirdir)	https://www.openlca.org/category/databases/	Tasarım ve YDD bilgilerin in içe/dışa aktarılması mümkün	Belirli veri tabanlarını (örn. GaBi, ecoinvent) satın almak mümkündür.
GaBi, Almanya https://sphaera.com/product-sustainability-software/	Veri girişinin kalitesinin güvenilirlik değerlendirmesi (örn. DQI) Duyarlılık analizi (örn. parametrelerin ve veri setlerinin sonuçlar üzerindeki etkisinin kontrolü) Belirsizlik analizi (örn. sonuçların değişkenliğinin kontrolü) (örn. Monte Carlo) Senaryo analizi (örn. alternatif seçeneklerin kontrolü)	Bilgi kaynakları, temel veriler ve modelleme varsayımları izlenebilir ve doğrulanabilir veya yazılımın içinde ayrıntılı olarak belgelenmiştir (veriler birim süreç düzeyinde mevcuttur ve erişilebilirdir) ILCD formatının tam olarak uygulanması, InData formatı (Alman ÇÜB format uzantısı), EcoSpold I formatı	https://sphaera.com/product-sustainability-gabi-data-search/	Tasarım ve YDD bilgilerin in içe/dışa aktarılması mümkün	İsteğe bağlı olarak veri tabanı satın almak mümkündür.
SimaPro, Hollanda https://pre-sustainability.com/	Veri girişinin kalitesinin güvenilirlik değerlendirmesi Duyarlılık analizi (örn. parametrelerin ve veri setlerinin sonuçlar üzerindeki etkisinin kontrolü) Belirsizlik analizi (örn. sonuçların değişkenliğinin kontrolü) (örn. Monte Carlo) Senaryo analizi (örn. alternatif seçeneklerin kontrolü)	Bilgi kaynakları, temel veriler ve modelleme varsayımları izlenebilir ve doğrulanabilir veya yazılımın içinde ayrıntılı olarak belgelenmiştir (veriler birim süreç düzeyinde mevcuttur ve erişilebilirdir)	https://support.simapro.com/articles/FAQ/Which-databases-are-included-in-SimaPro/	YDD bilgilerin in içe/dışa aktarımı mümkün	
Umberto, Almanya https://www.ifu.com/umberto/	Duyarlılık analizi (örn. parametrelerin ve veri setlerinin sonuçlar üzerindeki etkisinin kontrolü) Senaryo analizi (örn. alternatif seçeneklerin kontrolü)	Bilgi kaynakları, temel veriler ve modelleme varsayımları izlenebilir ve doğrulanabilir veya yazılımın içinde ayrıntılı olarak belgelenmiştir (veriler birim süreç düzeyinde mevcuttur ve erişilebilirdir)	https://www.ifu.com/umberto/lca-data/	Tasarım ve YDD bilgilerin in içe/dışa aktarılması mümkün	Malzeme Akış Analizi gerçekleştirmek için sıklıkla kullanılır. GaBi Professional ve eklenti veri tabanları satın alınabilir.

Tablo 2.5: YDD araçlarının YDED açısından karşılaştırmalı analizi.

KARŞILAŞTIRMA KRİTERİ	Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
	Çevresel etki kategorileri
YDD ARACI	
One Click LCA, Almanya https://www.oneclicklca.com/	EN 15978:2011'de belirlenen kategorilerin tamamı + ek PEF kategorileri
OpenLCA, Almanya https://www.openlca.org/	EN 15978:2011'de belirlenen kategorilerin tamamı + ek PEF kategorileri
GaBi, Almanya https://sphaera.com/product-sustainability-software/	EN 15978:2011'de belirlenen kategorilerin tamamı + ek PEF kategorileri
SimaPro, Hollanda https://pre-sustainability.com/	EN 15978:2011'de belirlenen kategorilerin tamamı + ek PEF kategorileri
Umberto, Almanya https://www.ifu.com/umberto/	EN 15978:2011'de belirlenen kategorilerin tamamı

Tablo 2.6: YDD araçlarının yorumlama evresi açısından karşılaştırmalı analizi.

KARŞILAŞTIRMA KRİTERİ	Yorumlama Evresi
	YDD sonuçlarının sunumu
YDD ARACI	
One Click LCA, Almanya https://www.oneclicklca.com/	YDD sonuçlarını göstermek için Sankey diyagramı, dairesel grafik, ağaç haritası diyagramı, sütun grafikleri gibi çeşitli grafiksel sunuş tekniklerini ve envanter analizi için tabloları kullanır.
OpenLCA, Almanya https://www.openlca.org/	YDD sonuçlarını göstermek için Sankey diyagramı ile sütun grafiklerini ve envanter analizi için tabloları kullanır.
GaBi, Almanya https://sphaera.com/product-sustainability-software/	YDD sonuçlarını göstermek için Sankey diyagramını ve sütun grafiklerini kullanır. Envanter analizi için tablolar ve veri girişiyle otomatik oluşturulan akış diyagramları kullanılır.
SimaPro, Hollanda https://pre-sustainability.com/	YDD sonuçlarını göstermek için Sankey diyagramı ile sütun grafiklerini ve envanter analizi için tabloları kullanır.
Umberto, Almanya https://www.ifu.com/umberto/	YDD sonuçlarını göstermek için Sankey diyagramını ve envanter analizi için tabloları kullanır. Sonuçlar Dinamik Excel Pivot Tablosu ve Gösterge Tablosu Grafiği'ne aktarılabilir.

Tablo 2.7: YDD araçları karşılaştırmasının genel değerlendirilmesi.

KARŞILAŞTIRMA KRİTERİ	Genel Değerlendirme	
	Genel değerlendirme olumlu özellikleri	Genel değerlendirme olumsuz özellikleri
YDD ARACI		
One Click LCA, Almanya https://www.oneclicklca.com/	Veri kümelerinin iyi belgelenmesi. Maliyetler modellenilebilir. Veri setlerini kolayca içe/dışa aktarmak mümkündür. Veri kümelerini çevrimiçi paylaşma imkânı. ÇÜB oluşturma imkânı. Veri tabanı 150.000'den fazla farklı veri noktasını kapsamaktadır. Excel ve BIM yazılımları ile iyi entegrasyon.	Yüksek yatırım maliyeti Normalleştirme (BRE Eko puan hariç) ve ağırlıklandırma faktörleri mevcut değildir.

Tablo 2.7: Devam.

OpenLCA, Almanya https://www.openlca.org/	Maliyetler ve sosyal yönler de modellenabilir. Kullanıcılar için ücretsiz. Açık kaynak. Veri setlerini kolayca içe/dışa aktarmak mümkündür. Veri kümelerini çevrimiçi paylaşma imkânı. ÇÜB oluşturma imkânı.	Ücretsiz olarak kullanılabilen veri kümelerinin eksikliği Birçok veri kümesi yetersiz belgelenmiştir ILCD/PEF yöntemi için normalleştirme ve ağırlıklandırma faktörleri mevcut değildir.
GaBi, Almanya https://sphaera.com/product-sustainability-software/	Veri kümelerinin iyi belgelenmesi. Maliyetler ve sosyal yönler de modellenabilir. Veri setlerini kolayca içe/dışa aktarmak mümkündür. Yüzlerce veri setine sahip profesyonel veri tabanı ve ayrıca onlarca uzantı veri tabanı da vardır. ÇÜB oluşturma imkânı.	Yüksek yatırım maliyeti Veri kümelerinin çoğu toplanır.
SimaPro, Hollanda https://pre-sustainability.com/	Veri kümelerinin iyi belgelenmesi. Sosyal yönler de modellenabilir. Ecoinvent veri tabanı ile entegre edilmiştir. Veri kümelerinin çoğu birim işlemlerdir. ÇÜB oluşturma imkânı.	Yüksek yatırım maliyeti Sınırlı sayıda veri kümesi formatı
Umberto, Almanya https://www.ifu.com/umberto/	Maliyet yönleri de modellenabilir. Ecoinvent veri tabanı ve/veya GaBi veri tabanı ile entegredir. Excel özellikleri ile iyi entegrasyon.	Yüksek yatırım maliyeti. Monte Carlo analizi ve belirsizlik analizi yoktur. Veri kümelerini geleneksel YDD biçimlerine (ör. ecoSpold, ILCD) içe/dışa aktarmak mümkün değildir. Analiz edilen yazılım versiyonunda normalleştirme ve ağırlıklandırma faktörleri mevcut değildir.

2.6.3 One Click LCA

YDD, gömülü karbon hesabı, yaşam döngüsü maliyet analizi, tasarım optimizasyonu için çevrimiçi olarak kullanılabilen, Bionova Ltd. tarafından geliştirilmiş bir yazılım aracıdır. Bu araç, YDD çalışması için uluslararası standartlara uygundur. EN 15804, EN 15978, ISO 21931-1, ISO 21929-1 ve ISO 14040 için üçüncü taraflarca onaylanmıştır. Ayrıca EN 15978'de tanımlanan “beşikten beşiğe” (cradle to cradle) tüm yaşam döngüsü aşamalarının hesaplamalarını desteklemektedir. Çalışma prensibi, binada kullanılan yapı malzemelerinin kilogram değerini veri tabanındaki katsayı ile çarparak çevresel etki sonucunu elde etmektir. Öte yandan, One Click LCA aracı, malzeme bilgilerini mevcut ülke konumu koşullarıyla eşleştirme fırsatı sunmaktadır. Aynı şekilde yakıt verileri de Enerji Koruma Ajansı'ndan alınan Türkiye verileri baz alınarak hesaplanmaktadır. Ek olarak, yapı malzemeleri yazılımda seçilebilmekte, değiştirilebilmekte ve karbon emisyonlarını azaltmak için simüle edilebilmektedir [Web 5, 2025].

One Click LCA aracının veri tabanına girilen ÇÜB'ler, yapı ürünleri hakkında ayrıntılı teknik açıklamalar içermektedir, EN15804 ve/veya ISO 14025 standartlarına uygundur. Dahil edilen tüm AB veri tabanları, EN 15804 standardına ve Kuzey

Amerika veri tabanları ise ISO 14040/44 standardına uygundur. One Click LCA aracı ayrıca ülkeye özgü ortalama verilere de sahiptir (örn. Ökobaudat ve INIES). One Click LCA, kapsamlı bir yerel yapı YDD veri tabanının bulunmadığı alanlarda, yerel üretim koşullarıyla eşleşen sonuçlar elde etmek için verileri yerelleştirmeye izin veren bir telafi metodolojisine sahiptir [Web 5, 2025], [Web 6, 2025].

One Click LCA aracındaki çoğu malzemenin çevresel etkisi, farklı ÇÜB veri tabanlarından edinilen üretici veya ürün kategorisi ÇÜB'lerine ve yapı malzemesi üreticisi tarafından sağlanan bilgilere dayanmaktadır. Ayrıca, araç, "Oekobau.dat" ve "IMPACT" veri tabanlarından yararlanarak toplamda 10.000'den fazla farklı yapı malzemesini kapsamaktadır [Web 7, 2025]. One Click LCA aracında, Avrupa pazarlarını hedefleyen tüm araçlar için YDED metodolojisi, Avrupa EN 15978 ve EN 15804 standartlarının gerektirdiği metodoloji olan CML-IA 2012'dir. CML YDED metodolojisi, 2001 yılında Hollanda'daki Leiden Üniversitesi tarafından oluşturulmuştur. Kuzey Amerika pazarları için ise, araç YDED yöntemi olarak, ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından geliştirilen "Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılması ve Değerlendirilmesi Aracı"nın kısaltması olan "TRACI"i kullanmaktadır [Web 8, 2025].

Karunaratne ve Dharmarathna (2022) üç ana yazılım aracı özelliğinin ayrıntılı bir değerlendirmesini sağladığı çalışmada, dokuz yazılım aracının (One Click LCA, ATHENA Impact Estimator, Tally, Eco bat, Eco-Quantum, ELODIE, Envest, EQUER ve LEGEP), benimsenen YDD yaklaşımının kapsamlılığını, kullanıcı dostu olmasını ve sürdürülebilir tasarıma katkısını beş tema altında incelenmiştir. Veri girişi, veri analizi ve yorumlaması, çevresel çıktı sonuçları, yazılım aracı yapısı ve veri tabanı, on iki odak alanını kapsayan ana temalar olmuştur. Çalışmada yapılan anket sonucunda One Click LCA aracının 165 puan üzerinden 152 puan alarak diğer araçlardan daha iyi bir performans gerçekleştirdiği ortaya konmuştur [Karunaratne ve Dharmarathna, 2022].

Barutçu (2020), çapraz lamine ahşap ve betonarme taşıyıcı sistemli tekil konut yapılarının çevresel etkilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesini yaptığı çalışmada, YDD çalışması için, benzeri çalışmalarda yaygın olarak kullanılan yazılımlar arasında SimaPro, GaBi ve OpenLCA bulunduğunu tespit etmiş ve bunlar arasından SimaPro ve Open LCA yazılımlarının içinde yer alan Ecoinvent veri tabanında çapraz lamine ahşap ile ilgili veriler bulunmadığından bu çalışma için kullanılmamıştır. GaBi

yazılımı ise, veri tabanında çapraz lamine ahşap verileri içermesine rağmen ücretli olması nedeniyle kullanılmamıştır. Bunun üzerine çalışmada, çapraz lamine ahşap ve diğer yapı malzemeleri için ÇÜB verileri veri tabanında olan, ücretsiz erişim sağlanabilen ve çevrimiçi bir araç olan One Click LCA aracının kullanılmasına karar verilmiştir **[Barutçu, 2020]**.

Önal (2022), One Click LCA aracını kullanarak, ahşap esaslı prefabrike ve ahşap esaslı geleneksel yapım sistemi olmak üzere iki farklı yapım sistemiyle oluşturulmuş tek aileli iki konutun tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Bu aracı belirlemeden önce farklı değerlendirme araçları incelenmiş, fakat Türkiye için, yerel EPD'lere dayalı verilerin kullanılmasında tüm yaşam döngülerinin değerlendirilmesinde zorluklarla karşılaşıldığı vurgulanmıştır. One Click LCA aracının ise malzemelere ait bilgileri mevcut ülke şartlarıyla eşleştirme imkânı sunmakta olduğu ve enerji verileri için de Enerji Koruma Ajansı'nın Türkiye verilerine göre hesaplama yaptığı belirtilmiştir. Ayrıca, yazılım içinde yapı malzemelerini seçmek, değiştirmek ve karbon emisyonlarının nasıl azaltılacağını simüle etmek mümkün olduğundan çalışmada One Click LCA aracı kullanılmıştır **[Önal, 2022]**

Aygenç (2022), SimaPro ve One Click LCA araçlarını kullanarak, LEED sertifikalı bir yeşil binanın YDD'sini gerçekleştirmiştir. SimaPro ve GaBi gibi sahada yaygın kullanım ve doğrulamaya sahip farklı YDD yazılımlarını karşılaştıran çalışmaların mevcut olduğu ancak yeni ve bina odaklı bir YDD programı olan One Click LCA'nın diğer YDD yazılımları ile henüz analiz edilmediği ve karşılaştırılmadığı belirtilmiştir. Bu nedenle, One Click LCA ve SimaPro sonuçlarının karşılaştırmalı analizinin, YDD uygulayıcılarına amaçlarına göre hangi YDD aracının kullanılacağına karar vermeye çalışırken yeni bir bakış açısı sağlayacağı belirtilmiştir **[Aygenç, 2019]**

Karunaratne ve Dharmarathna (2022) One Click LCA dahil olmak üzere dokuz farklı yazılım aracının güçlü yönlerini ve geliştirilmesi gereken yönlerini beş tema altında belirlemiştir; Bunlar; veri girişi, veri analizi ve yorumlaması, çevresel çıktı sonuçları, yazılım aracı yapısı ve veri tabanıdır **[Karunaratne ve Dharmarathna, 2022]**.

Kullanıcı arayüzünün takip etmesi kolay ve kullanıcı dostu bir yapıya sahip olması, manuel giriş ve eklentiler (Revit, Grasshopper, Rhino) aracılığıyla Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) entegrasyonuna olanak sağlaması, veri girişinin olası karışıklık alanlarında, açılır pencereler ve açıklamalar kullanılarak yönlendirilmesi, "ghXML"

formatını (Design Builder, IES-VE) destekleyen tüm enerji modelleme yazılımlarıyla entegre olabilmesi ve kullanıcının veri girişlerini herhangi bir aşamada değiştirmesi esnekliği One Click LCA aracının veri girişi açısından güçlü yönleri olarak belirtilmiştir **[Web 9, 2025], [Potrč Obrecht vd., 2020], [Petroche vd., 2015]**. İlk kez kullananlar için yararlı olması açısından varsayılan değerler ve şablonlar sağlanması ile malzeme seçimlerinde sürdürülebilir alternatifler önerilmesi ise aracın veri girişi açısından geliştirilmesi gereken yönleri olarak açıklanmıştır.

Her malzeme türü için çevresel etkilerin yaşam döngüsü aşamalarına göre ayrılması, kullanıcının seçimlerini tamamlamadan önce tasarım alternatifleri ile malzeme alternatifleri arasında karşılaştırmalar yapmasına izin vermesi, dünya çapında 60'tan fazla derecelendirme sistemi, değerlendirme ölçütleri ve standartları ile uyumluluk göstermesi ve çok sayıda etki kategorisinin mevcudluğu One Click LCA aracının veri analizi ve yorumlaması için güçlü yönleri olarak vurgulanmıştır **[Web 9, 2025], [Potrč Obrecht vd., 2020], [Petroche vd., 2015], [Lotteau, 2015]**. Etki değerlendirmesindeki ağırlıkları ayarlama daha fazla esneklik sağlanması, normalleştirme ve değerlemenin dahil edilmesi, "arka yüz hesaplaması" ayrıntılarının açıklanarak analizin şeffaflığının artırılması ise veri analizi ve yorumlaması bakımından aracın geliştirilmesi gereken yönleri olarak belirtilmiştir.

One Click LCA aracının, sonuçları eş zamanlı olarak oluşturması ve sonuçların indirilebilmesi, çıktı sonuçları olarak tablo formlarından Sankey diyagramlarına çeşitli grafikler ve gösterim yöntemleri sağlaması, sonuçları sıcak nokta analizi yeteneği ile, aşama bazında, eleman bazında vb., üretebilmesi ve değişen standartlara uygun rapor üretimi yapabilmesi çevresel çıktı sonuçları açısından güçlü yönleri olarak açıklanmıştır **[Web 9, 2025], [Potrč Obrecht vd., 2020], [Petroche vd., 2015], [Lotteau, 2015], [Wong ve Zhou,2015]**. Bunların yanı sıra, sürdürülebilirliği teşvik etmek için öneriler eklenmesi aracın çevresel çıktı sonuçlarını geliştirebilecek bir yön olarak belirtilmiştir.

One Click LCA aracının sistem sınırları önceden tanımlanmış olmasına rağmen, kullanıcıların herhangi bir yaşam döngüsü aşamasını dahil etme veya hariç tutma özgürlüğüne sahip olması, farklı kapsamlardaki proje türlerini ele alabilmesi, geliştirilmiş özelliklerle güncellenmesi, gerektiğinde girişleri silme, değiştirme, kopyalama ve kilitleme yeteneğine sahip olması, kullanıcının farklı tasarım seçeneklerini keşfetmesini ve karşılaştırmasını sağlaması, yapı yaşam döngüsü

aşamalarının ana başlıklara ve bunları ayrıntılı olarak açıklayan alt başlıklara ayrılmış olması yazılım aracı yapısı yönünden güçlü yönleri olarak açıklanmıştır **[Dossche vd., 2017], [Jayasinghe ve Waldmann, 2020], [Han ve Srebric, 2011]**.

Dünyanın farklı noktalarından ÇÜB verileriyle desteklenen çok kapsamlı bir veri tabanına sahip olması, üçüncü taraf doğrulaması ile veri tabanına yeni girişler ekleyebilmenin mümkün olması, malzeme detaylarının görüntülenebilmesi ile güncel ve ücretsiz erişilebilen veri tabanına sahip olması aracın veri tabanı açısından güçlü yönleri olarak belirtilmiştir **[Jayasinghe ve Waldmann, 2020], [Han ve Srebric, 2011], [Al-Ghamdi ve Bilec, 2017]**. Bununla birlikte, üçüncü taraf doğrulama sürecinin zaman alıcı olabilmesi nedeniyle riski kullanıcıya ait olmak üzere verileri kullanma özelliği eklenmesi geliştirilebilmesi gereken bir yön olarak vurgulanmıştır.

3. KAMPÜS BİNALARININ YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ

Bu bölüm, Gebze Teknik Üniversitesi'nin (GTÜ) genel yapısı ve tarihçesinden başlayarak, kampüs alanlarının fiziksel özelliklerini, bina kategorizasyonlarını, inşaat ve mimari özelliklerini, kullanılan yapı malzemelerini, işletme ve bakım süreçlerini, sürdürülebilirlik politikaları ve çevresel performans verilerini kapsamlı biçimde ortaya koymaktadır. Ayrıca, Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı'ndan edinilen bilgiler ışığında kampüsteki elektrik, doğalgaz ve akaryakıt gibi enerji tüketim verilerinin yıllar içindeki değişimini incelemiş, en çok enerji tüketen yapıların tespit edilmesini hedeflemiştir.

Bu bilgiler, tezin "Amaç ve Kapsam Tanımı" ile "Envanter Analizi" aşamaları için temel bir veritabanı oluşturmakta ve GTÜ kampüsündeki seçili yapıların YDD analizinin gerçekleştirilmesi için altlık teşkil etmektedir. Bu kapsamda, seçilen yapıların malzeme kaynaklı gömülü çevresel etkileri ile kullanım sürecine bağlı enerji tüketiminden doğan etkileri, One Click LCA yazılımı kullanılarak TS EN 15978 ve ISO 14040–14044 standartları çerçevesinde değerlendirilmiştir. Böylece, bu bölümde kampüs yapılarının yaşam döngüsü temelli çevresel performanslarının belirlenmesi ve sürdürülebilirlik açısından karşılaştırmalı analizlerinin yapılması amaçlanmaktadır.

3.1 GTÜ Kampüsü

Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye'deki iki yüksek teknoloji enstitüsünden biri olan Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (GYTE) adıyla Temmuz 1992 tarihinde kurulmuştur. Ekim 2014 tarihinde Türkiye Büyük Millet Meclisi kararıyla Gebze Teknik Üniversitesi olarak yeniden yapılandırılmıştır. Üniversite, 2017 yılında "araştırma üniversitesi" statüsü kazanmış ve 2021 itibarıyla Türkiye'deki 20 devlet araştırma üniversitesi arasında yer almaktadır. Üniversite, Kocaeli ilinin Gebze ilçesinde, sanayi bölgelerine yakın bir konumda bulunmaktadır [Web 10, 2025], [Web 11, 2025], [Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Ofisi, 2022]

GTÜ, ana yerleşkesi olan Çayırova Kampüsü'nden oluşmaktadır. Bu kampüs, 1.370.070 m² toplam açık alana ve 26.612 m² toplam kapalı alana sahiptir. Ayrıca, Muallimköy yerleşkesinde Bilişim Vadisi kurulmuştur. 2021 yılı itibarıyla GTÜ

kampüsünün toplam kapalı alanı %17 artarak 84 binada 148.104,94 m²'ye ulaşmıştır. Bu artış, GTÜ Enstitü binaları ve GTÜ SUMER İnşaat Binaları gibi tamamlanan eğitim binalarını içermektedir [Web 11, 2025], [GTÜ, 2021].

Şekil 3.1'de gösterilen kampüs haritası, binaların konumları hakkında görsel bilgi sağlamaktadır. Kampüs, fakülteler (Mimarlık Fakültesi N, K, U, M ve E Blokları gibi), enstitüler (Enerji Teknolojileri, Biyoteknoloji, Nanoteknoloji, Yer ve Deniz Bilimleri, Ulaşım Teknolojileri, Savunma Teknolojileri, Bilişim Teknolojileri Enstitüleri), çeşitli laboratuvarlar (Yapı Malzemeleri, Yapı, Geoteknik, Hidrolik, Yapım Yönetimi Laboratuvarları), spor kompleksleri (kapalı yüzme havuzu, basketbol, voleybol, tenis kortları, Prof. Dr. Ahmet AYHAN Kapalı Spor Salonu), kongre ve kültür merkezleri, kafeler, restoranlar ve kütüphane dahil olmak üzere birçok farklı fonksiyona sahip binayı barındırır. Ayrıca, misafırhane ve merkezi derslik binası gibi yapılar da mevcuttur [Web 12, 2025], [Web 13, 2025].



Şekil 3.1: Gebze Teknik Üniversitesi Kampüs Haritası [Web 11, 2025].

Üniversitenin sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli bir adım olarak, GTÜ’nde 2023 yılında Sürdürülebilirlik Ofisi faaliyete geçirilmiştir. Ofisin misyonu,

bilim, teknoloji, sanat ve eğitimde sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımlar geliştirerek topluma ve gelecek nesillere liderlik etmektir. Vizyonu ise sürdürülebilirlik konusunda yaşayan bir model olmak, öğrencileri sürdürülebilirlik ilkelerini benimsemeye teşvik etmek, sürdürülebilir uygulamaları araştırma ve eğitim stratejilerine entegre etmek, sürdürülebilir ve yeşil bir kampüs tasarlamak ve gelecekteki sürdürülebilir toplum için gerekli becerileri sağlamaktır. GTÜ, karbon ayak izini azaltma, atık miktarını en aza indirme, biyoçeşitlilik için sürdürülebilir bir yaşam alanı yaratma ve gelecek nesilleri eğitme konularında çalışmalarını sürdürmektedir. GTÜ, Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) doğrultusunda faaliyetler yürütmektedir ve UN Sustainable Development Solutions Network Turkey (UN SDSN-TR) ağının bir üyesidir [Web 14, 2025].

GTÜ, ilk sürdürülebilirlik raporunu 2022 yılı için Nisan 2023'te yayımlamıştır. Ayrıca, "GTÜ Sürdürülebilir Kampüs Politikaları 2024" ve "GTÜ İklim Eylem Planı 2024-2035" gibi önemli belgeler de yayımlanmıştır. Üniversite, UI GreenMetric (Dünya Üniversite Sıralamaları) platformundaki konumunu iyileştirmeyi hedeflemektedir. [Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Ofisi, 2022], [Web 14, 2025].

3.1.1 Kampüs Geneline Enerji, Su ve Atık Yönetimi

- Enerji: GTÜ, temiz enerji üretimi konusunda çok sayıda araştırma projesi yürütmektedir. Kampüsteki uygun binalara güneş paneli kurulumuna yönelik fizibilite çalışmaları devam etmektedir. Atıklardan metan üretimi projeleri uygulanmış ve iki adet kompost makinesi temin edilmiştir. Üniversite, karbon ayak izini azaltma hedefleri belirlemekte ve 2050 yılına kadar kampüs faaliyetlerini kapsayan bir azaltma planı ile sera gazı emisyonlarını en az %50 azaltarak karbon nötrlüğe ulaşmayı hedeflemektedir. Tüm yeni inşaat ve yenileme çalışmalarında karbon ayak izini azaltma hedefleri belirlenmesi planlanmaktadır [Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Ofisi, 2022].

- Su Tüketimi: Kampüsün ana su kaynağı Kocaeli Yuvacık Barajı'dır ve içilebilir su sağlamaktadır. Aylık su tüketimi yaklaşık 150-ton olup, başlıca laboratuvarlar, derslikler, ofisler, spor tesisleri (yüzme havuzu dahil) ve sulama için kullanılmaktadır. Üniversite, su kaynaklarını çeşitlendirmeyi ve kalitelerini sürekli izlemeyi planlamaktadır. Kampüste halihazırda bulunan 8 yeraltı suyu kuyusu, genellikle

sulama amacıyla kullanılmaktadır. Gelecekteki olası kullanımlar için bu kuyuların aylık olarak izlenmesi planlanmaktadır [Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Ofisi, 2022].

- Atık Yönetimi: Tehlikeli kimyasal atıklar yönetmeliklere uygun olarak bertaraf edilmektedir. Gebze Teknik Üniversitesi kampüsünde kağıt, plastik ve cam atıkları için ayrıştırma ve geri dönüşüm imkanları mevcuttur. Atık bilincini artırmak amacıyla çeşitli farkındalık çalışmaları yürütülmektedir. Özellikle, elektronik atıkların "Sıfır Atık Ormanı Projesi" aracılığıyla ağaçlandırmaya katkı sağlaması önemlidir. Bunun yanı sıra, alüminyum geri kazanımı ve akıllı ilaç atık toplama sistemleri gibi yenilikçi projeler ödüle layık görülmüştür [Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Ofisi, 2022]. [Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Ofisi, 2022].

Tablo 3.1 : GTÜ 2022 Sürdürülebilirlik Raporu'ndan seçili çevresel performans göstergeleri [Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Ofisi, 2022].

Kategori	Gösterge	2022 Verisi (veya İlgili Bilgi)	Hedefler/Planlar
Enerji	Karbon Ayak İzi Azaltma	Belirlenmesi planlanıyor	En az %50 azaltma, 2050'ye kadar karbon nötrlük
	Yenilenebilir Enerji Kullanımı	Güneş paneli fizibilite çalışmaları devam ediyor	Güneş paneli kurulumu
	Atıktan Enerji Üretimi	Metan üretimi projeleri, 2 kompost makinesi	Atıkların enerjiye dönüştürülmesi
Su	Aylık Su Tüketimi	Yaklaşık 150 ton	Su kaynaklarını çeşitlendirme, kalite izleme
	Yeraltı Suyu Kullanımı	8 kuyu (ağırlıklı olarak sulama için)	Aylık izleme, potansiyel gelecek kullanım
Atık	Tehlikeli Atık Yönetimi	Yönetmeliklere uygun bertaraf	Düzenli ve güvenli bertaraf
	Geri Dönüşüm	Kâğıt, plastik, cam için kutular mevcut	Farkındalık kampanyaları, geri dönüşüm oranlarını artırma
	Elektronik Atık Yönetimi	"Sıfır Atık Ormanı Projesi" ile fidan dönüşümü	Elektronik atıkların değerlendirilmesi
	Yenilikçi Atık Projeleri	Alüminyum atık geri kazanımı, akıllı ilaç atık toplama sistemleri	Atık geri kazanımını artırma

GTÜ, sürdürülebilirliği inşaat ve yenileme süreçlerine entegre etme hedefindedir. 2022 Sürdürülebilirlik Raporu'na göre, üniversite tüm yeni inşaat ve yenileme projelerinde karbon ayak izini azaltmaya yönelik hedefler belirlemeyi

amaçlamaktadır. Üniversitenin Çevresel ve Sosyal Yönetim Planı (ÇSYP), projenin çevre, sağlık, güvenlik, sosyo-ekonomik ve kültürel miras politikalarına ve yasal mevzuata uyumunu sağlamayı hedefler [Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Ofisi, 2022].

GTÜ'nün yeni inşaat ve yenileme projelerinde karbon ayak izi azaltma hedefleri belirleme planı ve çevresel yönetim planlarının varlığı, üniversitenin binalarının tasarım ve yapım aşamalarında sürdürülebilirlik ilkelerini giderek daha fazla benimsediğini ve gelecekte bu durumun farklı inşaat yıllarına sahip binalar arasında YDD sonuçlarında önemli farklılıklar oluşturabileceği anlamına gelmektedir, bu da gelecekte yeni yapım sistemleriyle yapılmış binalarda YDD gerçekleştirmenin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, bu tez kapsamında ve ileride yapılacak olan çevresel etki değerlendirme çalışmalarının sonuçları, büyümeye devam eden ve sürdürülebilirliği kendisine bir hedef olarak belirlemiş GTÜ kampüsünde yapılacak olan binalar için bir karar verme aracı olarak kullanılabilir.

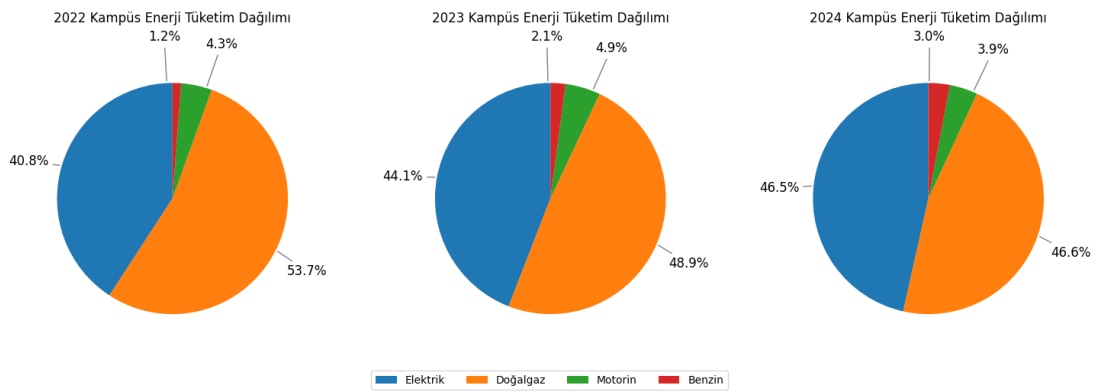
3.2 GTÜ Binalarının Enerji Tüketim Verileri ve Değerlendirilecek Kampüs Binalarının Belirlenmesi

Bu bölümde, GTÜ kampüsündeki tüm binaların 2022-2024 yılları arasındaki enerji tüketim verileri analiz edilerek, enerji kullanım desenleri ve sürdürülebilirlik potansiyelleri değerlendirilmiştir. Veriler, elektrik (kWh), doğalgaz (m³) ve akaryakıt (ton) tüketimlerini kapsamakta olup, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığından alınmıştır. Kampüs genelinde toplam enerji tüketimi, binaların kullanım amaçlarına ve yapısal özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Özellikle, Çevre-Kimya Binası (I2 Blok), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok) ve Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok), toplam enerji tüketiminde yüksek paylara sahip olmaları ve önem dereceleri nedeniyle analizde odak noktası olarak seçilmiştir. Bu binaların elektrik ve doğalgaz tüketimleri detaylı bir şekilde incelenmiş, akaryakıt tüketimi ise kampüs geneli için değerlendirilmiştir.

Analizde kullanılan veriler, 2022-2024 yılları arasındaki üç yıllık dönemin yıllık ve aylık enerji tüketim kayıtlarını içermektedir. Bu veriler üç ana enerji kategorisinde sınıflandırılmıştır:

- Elektrik Tüketimi (kWh): Aydınlatma, HVAC sistemleri, elektronik cihazlar ve laboratuvar ekipmanlarının tüketimi
- Doğalgaz Tüketimi (m³): Temel olarak ısıtma sistemleri ve sıcak su üretimi amaçlı kullanım
- Akaryakıt Tüketimi (ton): Jeneratörler ve diğer yardımcı sistemlerin yakıt ihtiyacı

Kampüs bünyesinde 85 farklı bina ve tesisten enerji tüketim verisi toplanmıştır. Bu binalar arasında mühendislik fakülteleri, araştırma enstitüleri, idari yapılar, sosyal tesisler, spor kompleksleri ve özel amaçlı binalar bulunmaktadır. Her binanın kendine özgü işlevsel karakteristikleri, kullanım yoğunluğu ve teknik altyapısı, enerji tüketim profillerini doğrudan etkilemektedir. **Şekil 3.2**, 2022, 2023 ve 2024 yılları boyunca kampüs genelinde enerji tüketiminin yıllık dağılımını karşılaştırmalı olarak üç ayrı grafikte sunmaktadır. 2022 yılında toplam enerji tüketiminin yaklaşık %41.0'i elektrik, %54.0'i doğalgaz, %3.5'i motorin ve %1.5'i benzin kaynaklarından gelmektedir. 2023'te bu oranlar sırasıyla %42.3, %52.1, %3.4 ve %2.2'ye, 2024'te ise %48.4, %48.5, %3.1 ve %4.0'a dönüşmüştür. Analiz, elektrik kullanımının yıllar içinde kademeli bir artış (%41.0'dan %48.4'e) gösterdiğini, buna karşılık doğalgaz kullanımının azaldığını (%54.0'dan %48.5'e) ortaya koymaktadır. Benzin kullanımındaki artış (%1.5'tan %4.0'a) ise öne çıkmakta ve bu değişimin enerji politikaları veya tüketim alışkanlıklarıyla ilişkili olabileceği değerlendirilmelidir.



Şekil 3.2: Kampüs genelinde yıllara bağlı enerji tüketim oranları.

Motorin kullanımının ise istikrarlı bir şekilde düşük kaldığı (%3.5'tan %3.1'e) gözlemlenmiştir. Bu bulgular, kampüsün enerji profilindeki dönüşümü anlamak ve gelecekteki sürdürülebilirlik stratejilerini şekillendirmek için önemli bir temel sunmaktadır. Toplam enerji tüketimi, 2022'de 17.046.614,59 kWh, 2023'te 16.066.900,95 kWh ve 2024'te 15.936.877,28 kWh olarak kaydedilmiştir. Bu, 2022'den 2024'e kadar toplam enerji tüketiminde yaklaşık %6,5'lik bir azalma olduğunu ortaya koymaktadır. Toplam enerji tüketimindeki azalma, enerji verimliliği önlemlerinin veya tüketim alışkanlıklarının bir sonucu olabilir; bu durumun detaylı incelenmesi, kampüsün sürdürülebilirlik hedefleri açısından önemli bir veri sunmaktadır.

Tablo 3.2'de, GTÜ kampüsünde yer alan binaların 2022, 2023 ve 2024 yıllarına ait toplam enerji tüketim (elektrik, doğalgaz ve akaryakıt) miktarları ile her bir binanın kampüs genelindeki toplam enerji tüketimi içindeki payı gösterilmektedir. Veriler, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı tarafından sağlanan enerji tüketim kayıtlarından derlenmiştir. Tablonun amacı, kampüs genelinde enerji tüketiminin bina bazında dağılımını ortaya koymak ve enerji yoğunluğu yüksek binaları belirleyerek YDD kapsamında kullanım aşaması (B6) analizine girdi sağlamaktır.

Tablo 3.2: GTÜ binalarının 2022, 2023 ve 2024 yıllarındaki yıllık enerji tüketimi ve toplam enerji tüketimindeki payı.

Bina Adı/Sayaç No	Blok No	2024 Yılı- Yıllık Toplam Enerji Tüketimi	2024 Yılı İçin Toplam Enerji Tüketimindeki Payı	2023 Yılı- Yıllık Toplam Enerji Tüketimi	2023 Yılı İçin Toplam Enerji Tüketimindeki Payı	2022 Yılı- Yıllık Toplam Enerji Tüketimi	2022 Yılı İçin Toplam Enerji Tüketimindeki Payı
		kWh/yıl	%	kWh/yıl	%	kWh/yıl	%
SÜREKLİ EĞİTİM MERKEZİ BİNASI	A	124.254	0,78	143.134	0,89	208.295	1,22
KAGEM BİNASI	B	90.890	0,57	111.734	0,70	160.573	0,94
FİZİK BİNASI	C	35.690	0,22	39.714	0,25	50.454	0,30
FİZİK BİNASI	D	40.394	0,25	47.639	0,30	65.268	0,38
EK DERSLİK BİNASI	E	64.809	0,41	82.959	0,52	119.196	0,70
MİMARLIK EK DERSLİK BİNASI	F	35.689	0,22	43.643	0,27	61.076	0,36
CAD/CAM ATÖLYESİ	G	10.346	0,06	13.600	0,08	20.129	0,12
FİZİK BİNASI	H	53.851	0,34	66.949	0,42	93.882	0,55
FİZİK BİNASI	I	49.046	0,31	58.945	0,37	81.177	0,48

Tablo 3.2: Devam.

ÖĞRENCİ YEMEKHANESİ	J	76.545	0,48	83.799	0,52	117.452	0,69
MİMARLIK EK BİNASI	K	25.009	0,16	29.930	0,19	41.519	0,24
FİZİK BİNASI	L	47.003	0,29	56.439	0,35	78.965	0,46
ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA BİNASI	M	49.865	0,31	56.461	0,35	79.542	0,47
MİMARLIK FAKÜLTESİ	N	339.425	2,13	405.195	2,52	558.632	3,28
AKADEMİK KÜLTÜR BİNASI	O	13.160	0,08	18.152	0,11	30.955	0,18
NANOTEKN OLOJİ ENSTİTÜSÜ	P	195.039	1,22	161.143	1,00	128.129	0,75
FİZİK BİNASI	R	288.494	1,81	435.078	2,71	398.658	2,34
ISI MERKEZİ	S	1.500	0,01	12.000	0,07	12.000	0,07
SAĞLIK KÜLTÜR VE SPOR D.B.	T	84.266	0,53	120.539	0,75	98.613	0,58
MİMARLIK BİNASI DERSLİĞİ	U	39.223	0,25	49.279	0,31	68.214	0,40
YABANCI DİLLER BÖLÜMÜ	V	174.676	1,10	211.159	1,31	271.884	1,59
YAPI İŞLERİ TEKNİK DAİRE BAŞKANLIĞI	Y	53.911	0,34	54.278	0,34	62.654	0,37
ANA OKULU	Z	58.464	0,37	47.526	0,30	29.880	0,18
BİLGİSAYAR MÜH. BÖLÜMÜ	A2	384.534	2,41	342.394	2,13	404.749	2,37
KİMYA MÜH. BÖLÜMÜ	B2	436.610	2,74	494.668	3,08	599.749	3,52
MOLEKÜLER BİYOLOJİ	C2	792.104	4,97	749.968	4,67	793.049	4,65
ŞADIRVAN	D2	1.500	0,01	1.200	0,01	1.200	0,01
SAHİL TESİSLERİ	E2	178.740	1,12	164.437	1,02	113.574	0,67
ÖĞRENCİ İŞLERİ DAİRE BAŞKANLIĞI	F2	111.758	0,70	103.315	0,64	112.619	0,66
KAPALI SPOR SALONU	G2	105.203	0,66	93.634	0,58	78.433	0,46
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ	H2	942.474	5,91	1.033.074	6,43	1.090.572	6,40
ÇEVRE-KİMYA	I2	2.054.943	12,89	2.095.773	13,04	2.089.273	12,26
KÜTÜPHANE	J2	595.491	3,74	534.169	3,32	569.798	3,34
SUMER	K2	62.179	0,39	79.190	0,49	89.120	0,52
TEKNOLOJİ TRANSFER OFİSİ	L2	81.150	0,51	99.315	0,62	96.179	0,56
REKTÖRLÜK	M2	328.070	2,06	310.387	1,93	303.995	1,78

Tablo 3.2: Devam.

ELEKTRONİK MÜHENDİSLİK BÖLÜMÜ	N2	882.001	5,53	896.606	5,58	883.314	5,18
İŞLETME BİNASI O2 (E-SYC04)	O2	938.598	5,89	895.239	5,57	933.056	5,47
GTÜ MAR	P2	549.264	3,45	579.901	3,61	556.057	3,26
KAYIKHANE	R2	0	0,00	0	0,00	0	0,00
YER VE DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ	S2	14.000	0,09	40.000	0,25	26.000	0,15
KAPALI YÜZME HAVUZU	T2	1.072.655	6,73	1.213.830	7,55	1.242.619	7,29
PERSONEL YEMEKHANESİ	U2	613.204	3,85	386.454	2,41	457.799	2,69
CAMİ	V2	15.000	0,09	10.200	0,06	10.200	0,06
ULAŞIM KOORDİNASYON	Y2	12.573	0,08	12.200	0,08	15.465	0,09
KAFETERYA	Z2	190.825	1,20	123.239	0,77	150.017	0,88
İNŞAAT MÜHENDİSLİK LABORATUVARI	A3	4.000	0,03	5.600	0,03	5.600	0,03
MİSAFİRHANE	B3	95.877	0,60	106.193	0,66	119.369	0,70
RESTORAN	C3	7.000	0,04	14.900	0,09	14.900	0,09
SU DEPOSU	D3	30.000	0,19	26.000	0,16	26.000	0,15
BAĞ EVİ	E3	0	0,00	0	0,00	0	0,00
YABANCI DİLLER DERSLİĞİ	F3	52.402		51.650	0,32		0,00
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ	G3	51.993	0,33	44.728	0,28	36.325	0,21
ENERJİ TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ	H3	42.193	0,26	45.428	0,28	37.025	0,22
PROTOKOL GÜVENLİK	I3	34.000	0,21	25.000	0,16	25.000	0,15
FOTOKOPİ MERKEZİ	J3	14.298	0,09	14.475	0,09	15.139	0,09
KONGRE VE KÜLTÜR MERKEZİ	K3	423.273	2,66	381.028	2,37	509.266	2,99
ANA NİZAMİYE	L3	35.000	0,22	48.600	0,30	48.600	0,29
PROTOKOL GÜVENLİK DİNLENME	M3	500	0,00	1.200	0,01	1.200	0,01
ÖSYM BİNASI	N3	21.000	0,13	14.000	0,09	14.000	0,08

Tablo 3.2: Devam.

ULAŞIM KOORDİNASY ON DUŞ-WC	O3	5.000	0,03	8.600	0,05	8.600	0,05
FİZİK BÖLÜMÜ EK LABARATUVA RI	P3	32.000	0,20	16.000	0,10	24.000	0,14
FİZİK BÖLÜMÜ EK LABARATUVA RI	R3	15.000	0,09	8.000	0,05	15.000	0,09
BAĞ EVİ OFİS	S3	0	0,00	0	0,00	0	0,00
ENSTİTÜ BİNASI	T3	6.500	0,04	2.800	0,02	5.800	0,03
BİYOTEKNOL OJİ ENSTİTÜSÜ	U3	482.382	3,03	393.789	2,45	471.571	2,77
HARİTA MÜHENDİSLİĞ İ	V3	458.382	2,88	393.789	2,45	448.001	2,63
DEPO VE KAZAN	Y3	5.000	0,03	12.000	0,07	12.000	0,07
İMİD EK BİNASI ULAŞIM	Z3	19.073	0,12	27.600	0,17	30.865	0,18
BİSİKLET ATÖLYESİ	C4	6.000	0,04	11.100	0,07	9.500	0,06
SERA	D4	274.744	1,72	262.159	1,63	281.259	1,65
SERA OFİSİ	E4	1.000	0,01	3.000	0,02	3.000	0,02
HANGAR ATÖLYESİ	F4	47.459	0,30	20.099	0,13	15.107	0,09
SUMER EK BİNASI	G4	10.330	0,06	21.000	0,13	56.620	0,33
İMİD EK BİNASI PEYZAJ	H4	6.000	0,04	17.100	0,11	20.365	0,12
CAMİ EK TESİS	I4	700	0,00	1.800	0,01	1.800	0,01
HAVACILIK VE UZAY BİLİMLERİ A BLOK	J4	19.600	0,12	1.500	0,01	1.500	0,01
HAVACILIK VE UZAY BİLİMLERİ B BLOK	K4	5.000	0,03	1.500	0,01	1.500	0,01
HAVACILIK VE UZAY BİLİMLERİ KAZAN DAİRESİ	L4	4.000	0,03	1.071	0,01	1.500	0,01
AMFİ BİNASI	M4	12.000	0,08	1.500	0,01	1.500	0,01
MARTEST	N4	0	0,00	0	0,00	0	0,00
REVİR	DA	18.084	0,11	24.711	0,15	31.345	0,18
ÇEVRE AYDINLATMA		250.000	1,57	317.000	1,97	347.000	2,04
DIŞ KULLANICILA R (FATURA KESİLEN)		644.643	4,04	403.559	2,51	221.233	1,30
ULAŞIM- JENERATÖRLE R-PEYZAJ İŞLERİ		488.019	3,06	729.931	4,54	731.142	4,29
TOPLAM		15.936.877,28	100,00	16.066.900,95	100,00	17.046.614,59	100,00

GTÜ kampüsündeki enerji tüketim verisi incelenen 85 farklı bina ve tesisten en çok enerji tüketen on binanın 2022-2024 yılları arasındaki yıllık elektrik tüketim verileri ve bu dönemdeki değişim oranları, **Tablo 3.3**'te detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bu veriler, kampüsün genel enerji tüketim eğilimlerini anlamanın yanı sıra, her bir binanın enerji performansındaki farklılıkları ve potansiyel verimlilik alanlarını belirlemek için kritik öneme sahiptir.

Tablo 3.3 : GTÜ kampüsünde en çok enerji tüketen on binanın 2022, 2023 ve 2024 yılları arası yıllık enerji tüketimi ve değişim oranları (kWh).

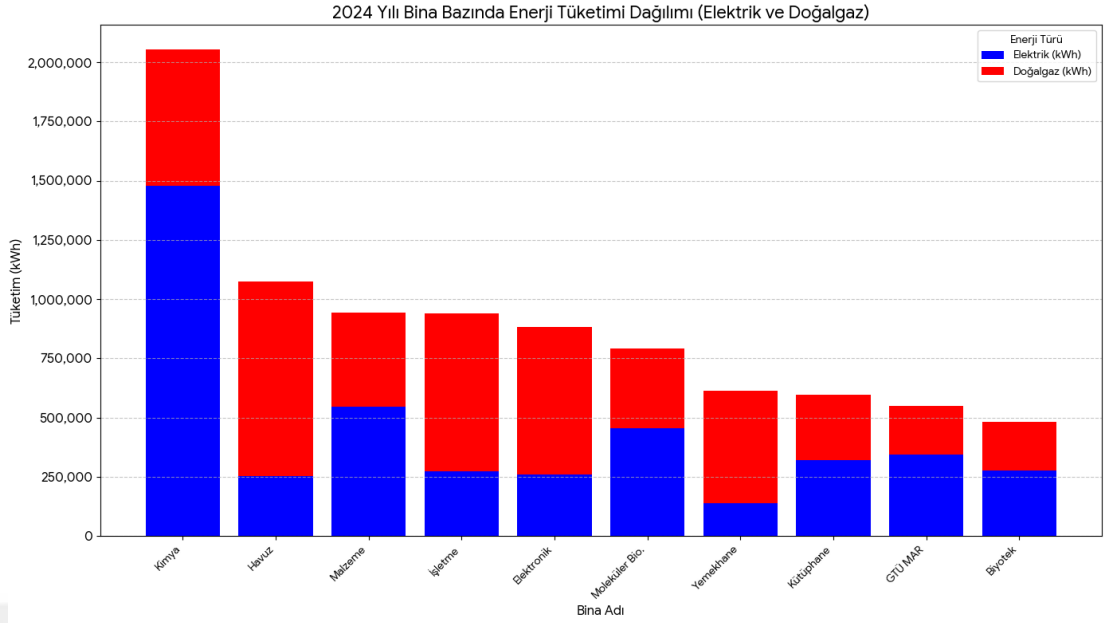
Bina Adı	2022 (kWh)	2023 (kWh)	2024 (kWh)	2022-2023 (%)	2023-2024 (%)	Toplam Değişim (%)
Çevre-Kimya I2 blok	2.089.273	2.095.773	2.054.943	+0.3%	-1.9%	-1.6%
Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok	1.242.619	1.213.830	1.072.655	-2.3%	-11.6%	-13.7%
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok	1.090.572	1.033.074	942.474	-5.3%	-8.8%	-13.6%
İşletme Binası O2 Blok	933.056	896.606	938.598	-3.9%	+4.7%	+0.6%
Elektronik Müh. N2 Blok	883.314	895.239	882.001	+1.4%	-1.5%	-0.1%
Moleküler Biyoloji C2 Blok	793.049	749.968	792.104	-5.4%	+5.6%	-0.1%
Kütüphane J2 Blok	569.798	579.901	613.204	+1.8%	+5.7%	+7.6%
GTÜ MAR P2 Blok	556.057	534.169	595.491	-3.9%	+11.5%	+7.1%
Biyoteknoloji Enstitüsü U3	471.571	393.789	549.264	-16.5%	+39.5%	+16.5%
Personel Yemekhanesi U2	457.799	386.454	482.382	-15.6%	+24.8%	+5.4%

Tablo 3.3'e göre, Çevre-Kimya (I2 Blok), Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (H2 Blok) binaları, incelenen üç yıl boyunca kampüsün en yüksek elektrik tüketicileri olmaya devam etmiştir. Özellikle Çevre-Kimya (I2 Blok) binası, her yıl 2 milyon kWh'nin üzerindeki elektrik tüketimiyle diğer binalardan açık ara önde gelmektedir. Bu durum, Çevre-Kimya (I2 Blok) binasının içerdiği yoğun laboratuvar ekipmanları, sürekli çalışan havalandırma sistemleri ve yüksek enerji gerektiren araştırma faaliyetleriyle doğrudan ilişkilidir. Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (H2 Blok) binalarının da

yüksek tüketimleri, sırasıyla spor tesisi (havuz pompaları, ısıtma, aydınlatma) ve araştırma/egitim amaçlı (laboratuvarlar, ağır cihazlar) kullanımlarından kaynaklanmaktadır. Bu binalar, kampüsün toplam elektrik yükünün büyük bir kısmını oluşturmaktadır ve bu nedenle enerji verimliliği odaklı çalışmalar için öncelikli hedefler olarak belirlenmelidir. İncelenen dönemde en yüksek artışı gösteren Biyoteknoloji binası olmuştur (+%16.5 toplam değişim). Özellikle 2023-2024 arasında %39.5 gibi çarpıcı bir artış kaydedilmiştir. Bu artışın nedenleri (örn. yeni laboratuvar kurulumları, artan araştırma faaliyetleri, yeni cihaz alımları, binanın kullanım yoğunluğunda artış) detaylı olarak incelenmelidir. Bu tür ani artışlar, enerji yönetiminde potansiyel sorunlara veya optimize edilebilecek alanlara işaret edebilir.

Binaların yıllık toplam enerji tüketimlerindeki değişim eğilimlerinin yanı sıra, enerji türleri bazındaki tüketim dağılımını anlamak da büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, özellikle 2024 yılı verilerine odaklanarak, her bir binanın toplam enerji tüketimi içindeki elektrik ve doğalgaz payları detaylı olarak incelenmiştir. Bu ayrıştırma, binaların operasyonel yapılarının enerji profillerine nasıl yansıdığını ortaya koymakla kalmayıp, aynı zamanda hangi enerji türü üzerinde verimlilik çalışmalarının daha etkili olabileceğine dair kritik bilgiler sunmaktadır. Doğalgaz genellikle ısıtma ve sıcak su gibi termal ihtiyaçlar için kullanılırken, elektrik aydınlatma, soğutma, ekipman çalıştırma ve genel priz tüketimlerini karşılamaktadır. Bu oranların analizi, her binanın kendine özgü enerji kullanım alışkanlıklarını ve potansiyel tasarruf alanlarını daha net bir şekilde ortaya koyacaktır.

Şekil 3.3'te 2024 yılına ait her bir binanın toplam enerji tüketiminde elektrik ve doğalgazın oransal dağılımı yığılmış çubuk grafik formunda görselleştirilmiştir. Bu analiz, binaların işlevlerine göre enerji ihtiyaçlarının nasıl farklılaştığını anlamak ve hedefli enerji verimliliği stratejileri geliştirmek için temel oluşturmaktadır.



Şekil 3.3: 2024 Yılı Enerji Tüketim Dağılımı.

Şekil 3.3 incelendiğinde, binaların enerji profillerinin, işlevsel farklılıklarına paralel olarak belirgin ölçüde değiştiği gözlemlenmektedir. Çevre-Kimya (I2 Blok) Binası, toplam enerji tüketiminde en üst sırada yer almakta ve enerji ihtiyacının büyük bir kısmını (%72) elektrikten karşılamaktadır (1.478.500 kWh elektrik, 576.443 kWh doğalgaz). Bu durum, binadaki laboratuvarların, yüksek güç gerektiren ekipmanların ve sürekli çalışan havalandırma sistemlerinin elektrik yoğunluğunu yansıtmaktadır. Dolayısıyla, bu binadaki enerji verimliliği odaklı çalışmaların öncelikle elektrik tüketimine yönelik olması gerektiği anlaşılmaktadır.

Diğer yandan, Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) Binası, toplam enerji tüketiminde ikinci sırada yer alırken, enerji profilinde doğalgazın baskın olduğu görülmektedir. Toplam tüketimin yaklaşık %76'sını doğalgaz (818.255 kWh) oluşturmaktadır (254.400 kWh elektrik). Bu durum, havuz suyunun ısıtılması ve kapalı alanın iklimlendirilmesi gibi yüksek termal enerji gerektiren operasyonlardan kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde, İşletme Binası (%71 doğalgaz payı ile: 271.800 kWh elektrik, 666.798 kWh doğalgaz), Elektronik Binası (%71 doğalgaz payı ile: 258.560 kWh elektrik, 623.441 kWh doğalgaz) ve Personel Yemekhanesi (%77 doğalgaz payı ile: 138.278 kWh elektrik, 474.926 kWh doğalgaz) da ısıtma ve diğer termal ihtiyaçlar nedeniyle doğalgazın belirgin şekilde öne çıktığı binalardır. Bu binalarda doğalgaz tüketimini düşürmeye yönelik yalıtım iyileştirmeleri, verimli

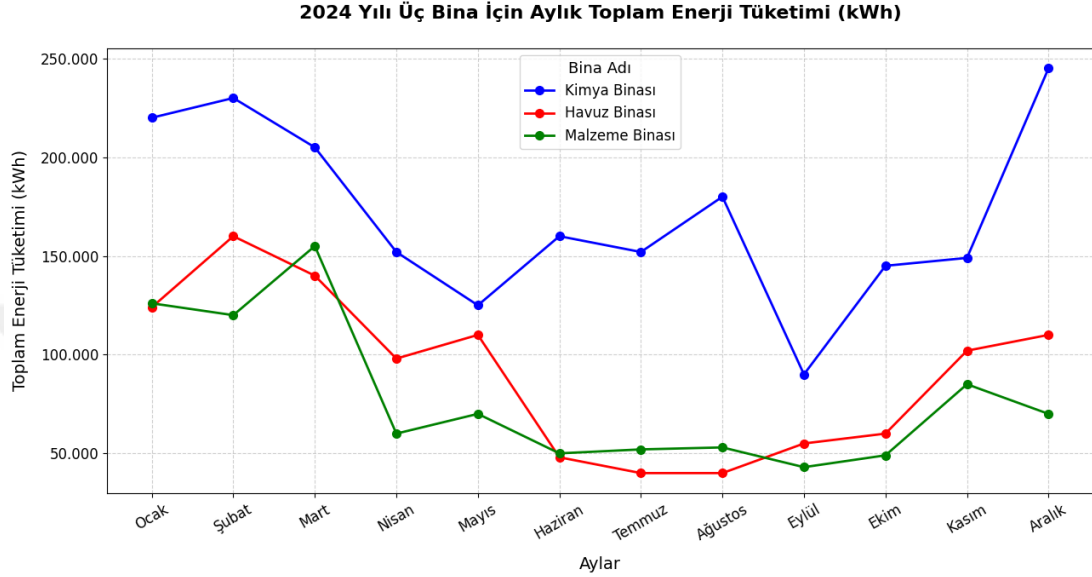
ısıtma sistemleri veya ısı geri kazanım çözümleri gibi uygulamaların önceliklendirilmesi gerekmektedir.

Diğer binalara bakıldığında, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok) Binası (547.000 kWh elektrik, 395.474 kWh doğalgaz) ve Moleküler Biyoloji Binası (456.000 kWh elektrik, 336.104 kWh doğalgaz) gibi yapılar, elektrik tüketiminin doğalgaza göre daha yüksek olduğu veya daha dengeli bir dağılımın olduğu binalar olarak öne çıkmaktadır. Bu, laboratuvar ve teknolojik ekipman kullanımının bu binaların enerji profillerini elektrik yönünde etkilediğini göstermektedir. Kütüphane, GTÜ MAR ve Biyoteknoloji binaları ise, elektrik ve doğalgaz tüketim oranlarının birbirine daha yakın seyrettiği yapılar olup, aydınlatma, iklimlendirme ve genel ofis/derslik kullanımlarının enerji yükünü şekillendirdiği anlaşılmaktadır.

Bu analizler ışığında, Çevre-Kimya (I2 Blok) Binası, Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) Binası ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (H2 Blok) Binası'nın hem mutlak tüketim değerleri hem de kampüsün toplam enerji yükündeki payları açısından öne çıktığı açıkça görülmüştür. Çevre-Kimya (I2 Blok) Binası, özellikle elektrik tüketimi yoğunluğuyla dikkat çekerken; Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) Binası, doğalgaz tüketimindeki baskınlığıyla ayrılmaktadır. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (H2 Blok) Binası ise her iki enerji türünde de yüksek bir tüketim sergilemektedir. Bu üç bina, farklı fonksiyonel özelliklere sahip olmaları ve kampüsün toplam enerji tüketiminde önemli bir temsil gücü taşımaları nedeniyle, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik potansiyellerinin daha derinlemesine anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, tezin ilerleyen bölümlerinde bu üç binanın enerji tüketim profilleri, aylık bazda daha detaylı bir şekilde incelenecek, mevsimsel değişimler, kullanım paternleri ve potansiyel tasarruf alanları derinlemesine analiz edilecektir.

Şekil 3.4'te üç binanın yıl içindeki enerji kullanım dinamiklerini ve mevsimsel etkileri karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Şekil incelendiğinde, üç bina arasında enerji tüketim miktarları ve mevsimsel dalgalanma paternleri açısından belirgin farklılıklar olduğu gözlemlenmektedir. Çevre-Kimya (I2 Blok) Binası, incelenen binalar arasında açık ara en yüksek aylık toplam enerji tüketimine sahip bina konumundadır. Yıl boyunca tüketim seviyesi göreceli olarak yüksek seyretmekle birlikte, özellikle kış aylarında (Ocak-Mart ve Kasım-Aralık) doğalgaz kaynaklı ısıtma yükünün etkisiyle

tüketimde belirgin artışlar yaşanmaktadır. Yaz aylarında (Haziran-Eylül) ise kısmi bir düşüş gözlenirken, ağustos ayında tekrar yüksek elektrik tüketimiyle bir zirve yapması, binanın laboratuvar ve özel ekipmanlarının yaz döneminde de yoğun kullanıldığını veya iklimlendirme yükünün arttığını düşündürmektedir.



Şekil 3.4: Çevre-Kimya I2 Blok, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binalarının 2024 yılı içindeki aylık enerji tüketimi.

Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'ndan sonra en yüksek toplam tüketime sahip olmakla birlikte, mevsimsel dalgalanmanın en keskin yaşandığı binadır. Kış aylarında (özellikle Ocak-Mart ve Kasım-Aralık) havuz suyunun ve ortamın ısıtılması nedeniyle enerji tüketimi zirve yaparken, yaz aylarında (Haziran-Eylül) bu tüketim dramatik bir şekilde düşmektedir. Özellikle Temmuz ve Ağustos aylarındaki düşük tüketim, ısıtma ihtiyacının neredeyse ortadan kalktığını ve sadece elektrikle çalışan pompa ve filtreleme sistemlerinin devrede olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu durum, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası için enerji verimliliği çalışmalarında ısıtma sistemlerinin optimize edilmesinin ne denli kritik olduğunu göstermektedir.

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası ise üç bina arasında en düşük toplam enerji tüketimine sahip olmakla birlikte, burada da belirgin mevsimsel dalgalanmalar

mevcuttur. Kış ayları (Ocak-Mart ve Kasım-Aralık) ısıtma ihtiyacının etkisiyle tüketimin yükseldiği dönemlerken, yaz ayları (Temmuz-Eylül) doğalgaz tüketiminin sifıra yaklaştığı veya tamamen ortadan kalktığı bir profil sergilemektedir. Bu, söz konusu dönemlerde ısıtma ihtiyacının bulunmadığını veya merkezi sistemin kapalı olduğunu işaret ederek, yaz aylarında sadece elektrik tüketiminin enerji tüketiminde etkin olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki analizler, GTÜ kampüsündeki binaların yıllık toplam enerji tüketimleri ve enerji türü bazındaki dağılımları hakkında kapsamlı bir analiz sunmuştur. Bu değerlendirmeler neticesinde, Çevre-Kimya I2 Blok Binası, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın kampüsün genel enerji yükünde hem mutlak tüketim değerleri hem de işlevsel çeşitlilikleri açısından belirgin şekilde öne çıktığı tespit edilmiştir. Çevre-Kimya I2 Blok Binası, yoğun laboratuvar faaliyetleri ve sürekli çalışan ekipmanları nedeniyle yüksek elektrik tüketimiyle karakterize edilirken; Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası, büyük ölçüde ısıtma amaçlı doğalgaz kullanımının baskın olduğu, mevsimselliğin en yoğun yaşandığı bir profile sahiptir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binasının ise, her iki enerji türünde de önemli bir tüketim sergilediği görülmüştür.

3.3 YDD Aracının Seçimi

YDD Araçlarının Karşılaştırmalı Analizi ve “One Click LCA” aracı adlı bölümünde (Bölüm 2.6) yapılan karşılaştırmalı analiz sonucunda One Click LCA aracı özellikle yapı sektörü odaklı değerlendirmelerde sunduğu pratiklik, kullanıcı dostu arayüz, hızlı veri girişi imkânı ve BIM tabanlı modelleme araçlarıyla entegrasyonu gibi nitelikleriyle ön plana çıkmıştır. Türkiye'ye özgü enerji ve malzeme verileriyle çalışabilmesi, veri setlerini yerelleştirme kapasitesi ve yeşil bina derecelendirme sistemleriyle (LEED, BREEAM vb.) tam uyumu, bu aracı saha uygulamaları ve sektörel karşılaştırmalar açısından işlevsel kılmaktadır. Ayrıca, One Click LCA'nın çoğu malzeme için geniş kapsamlı çevresel ürün beyanı (ÇÜB) veri tabanlarına erişim sunması, üçüncü taraf doğrulama mekanizması sayesinde veri güvenilirliğini artırması ve çeşitli çıktı türleriyle (grafik, tablo, sıcak nokta analizi vb.) sonuçların yorumlanmasını kolaylaştırması, yazılımın tercih edilmesinde etkili olmuştur.

Bunlara ek olarak, literatürde SimaPro, GaBi ve OpenLCA gibi araçlara yönelik çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, One Click LCA hakkında yapılmış akademik çalışma sayısının sınırlı olması, bu tezin aracı kullanarak sağlayacağı katkıyı özgün ve güncel kılmaktadır. Bu bağlamda, bu yazılımın akademik bağlamda daha fazla değerlendirilmesine olanak tanıyan bu çalışma, aynı zamanda gelecekte yapılacak benzer araştırmalara yöntemsel bir zemin sunmayı da amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, One Click LCA tarafından öğrenciler için ücretsiz olarak sağlanan öğrenci lisansı kullanılmıştır. One Click LCA, kullanıcının sadece binaya ait miktar verilerini (kg, m³, m²) girmesinin ardından bunları kendi veri tabanındaki çevresel profillerle eşleştirerek etki hesaplaması yapar. Yazılımın çeşitli bina sertifikasyonları ve hesaplama şemaları sunmasıyla birlikte, bu çalışmada “complete building LCA - tüm bina YDD” aracı kullanılmıştır.

One Click LCA, temelde şu denklemle çalışır (denklem 1.1):

$$\text{Etki}_{\{\text{toplam}\}} = \sum (\text{Malzeme Miktarı}_i \times \text{Çevresel etki katsayısı}_i) \quad (1.1)$$

Yazılım her malzeme için bu denklemi uygular ve tüm YDD modülleri bazında toplar.

3.4 Yaşam Döngüsü Envanter Analizi

Çevre-Kimya Binası (I2 Blok), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok) ve Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) kampüsün enerji tüketim çeşitliliğini ve yoğunluğunu en iyi şekilde yansıtan örnekler olarak Bölüm 3.2’de belirlenmiştir. Farklı kullanım enerjisi profillerine sahip olmaları, bu binalar üzerinde yapılacak detaylı bir YDD çalışmasının, kampüs genelinde sürdürülebilirlik potansiyellerini çok yönlü bir şekilde değerlendirmek için kritik bir temel sunacağını göstermektedir. Bu bağlamda, tezin ilerleyen bölümlerinde bu üç bina, YDD metodolojisi doğrultusunda derinlemesine analiz edilerek, üniversitenin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında yol gösterici çıktılar sağlanacaktır.

Bu çalışmanın envanteri için; Çevre-Kimya Binası (I2 Blok), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok) ve Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) yapıları için A1, A2, A3 ve B6 aşamalarında kullanılan envanter verileri **Tablo 3.4**’te görülmektedir.

Tablo 3.4: İncelenen üniversite yapıları için yapıları için A1, A2, A3 ve B6 aşamalarında kullanılan envanter kaynakları.

Envanter	Envanter Kaynağı
A1 (hammadde temini) A2 (taşıma) A3 (malzeme üretimi)	Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı'ndan edinilen mimari-statik projeler ve maliyet icmallerindeki metrajlardan yararlanılarak malzeme listeleri oluşturulmuştur. Oluşturulan malzeme listesi One Click LCA aracına manuel olarak girilmiştir.
B6 (kullanım enerjisi)	Kullanıcının manuel olarak girdiği tüketim miktarına bağlıdır. Tüketim miktarları Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı'ndan edinilen 2024 yılı doğalgaz ve elektrik faturalarına dayalı verilerden alınmıştır.

3.4.1 Kampüs Binaları

- Çevre-Kimya Binası (I2 Blok): 2013 yılında inşa edilen Çevre-Kimya Binası (I2 Blok) (**Şekil 3.5**) plan boyutları, kat adedi, kat yüksekliği, brüt inşaat alanı, bina servis ömrü gibi yapısal özellikleri **Tablo 3.5**'te görülmektedir.



Şekil 3.5: Çevre-Kimya I2 Blok Binasına ait bir fotoğraf [Web 15, 2025].

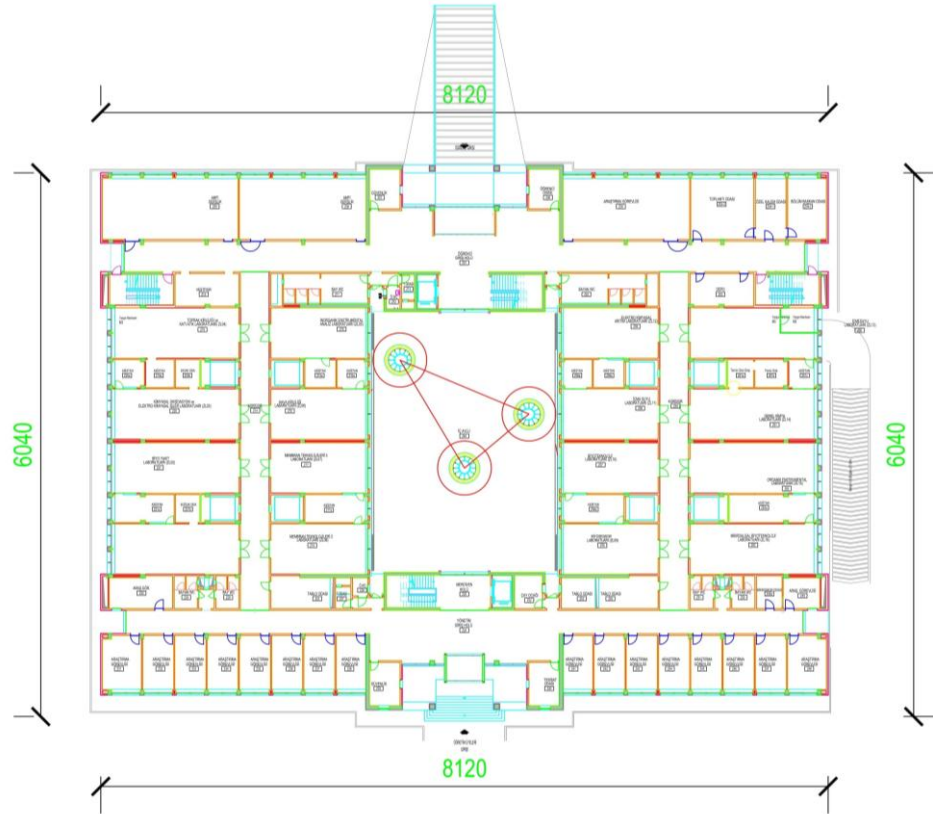
Yapının genel yerleşim planı şu şekildedir:

- Bodrum kat planı: Laboratuvar malzeme depolarından, yemekhane ve sığınaktan oluşur.

- Zemin kat planı (**Şekil 3.6**): Laboratuvarlardan, dersliklerden, araştırma görevlisi ofislerinden oluşur.

Tablo 3.5: Çevre-Kimya Binası (I2 Blok) Yapısal Özellikleri.

Taşıyıcı Sistem	Betonarme
Yapım Yılı	2013
Plan Boyutları (m)	81,20 x 60,40
Kat Adedi	1 Bodrum + 1 Zemin Kat + 2 Normal Kat + Teras Çatı
Kat Yüksekliği (m)	3.50 (Bodrum Kat) 4.50 (Zemin Kat ve Normal Katlar)
Brüt İnşaat Alanı (m²)	16476
Bina Servis Ömrü (yıl)	50



Şekil 3.6: Çevre-Kimya I2 Blok Binası Zemin Kat Planı.

- 1. kat planı: Laboratuvarlardan, dersliklerden, öğretim üyesi ofislerinden oluşur.
- 2. kat planı: Laboratuvarlardan, öğretim üyesi ve bölüm başkanlığı ofislerinden oluşur.
- Teras çatı planı: Asansör makine daireleri ve merdiven kulelerinden oluşur.

Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan edinilen mimari-statik projeler ve maliyet icmallerindeki metrajlardan ve malzeme bilgilerinden yararlanılarak Çevre-Kimya Binası (I2 Blok) için malzeme listeleri oluşturulmuştur. Araca girilen her bir malzeme için oluşturulan malzeme listesi, ilgili iş pozunun numarası, işin tanımı, malzemenin birimi, miktarı, türü ve One Click LCA aracında seçilen ürün açıklamaları ile birlikte Ek-A'da sunulmuştur.

- Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok): Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok) (**Şekil 3.7**) plan boyutları, kat adedi, kat yüksekliği, brüt inşaat alanı, bina servis ömrü gibi yapısal özellikleri **Tablo 3.6**'da görülmektedir.



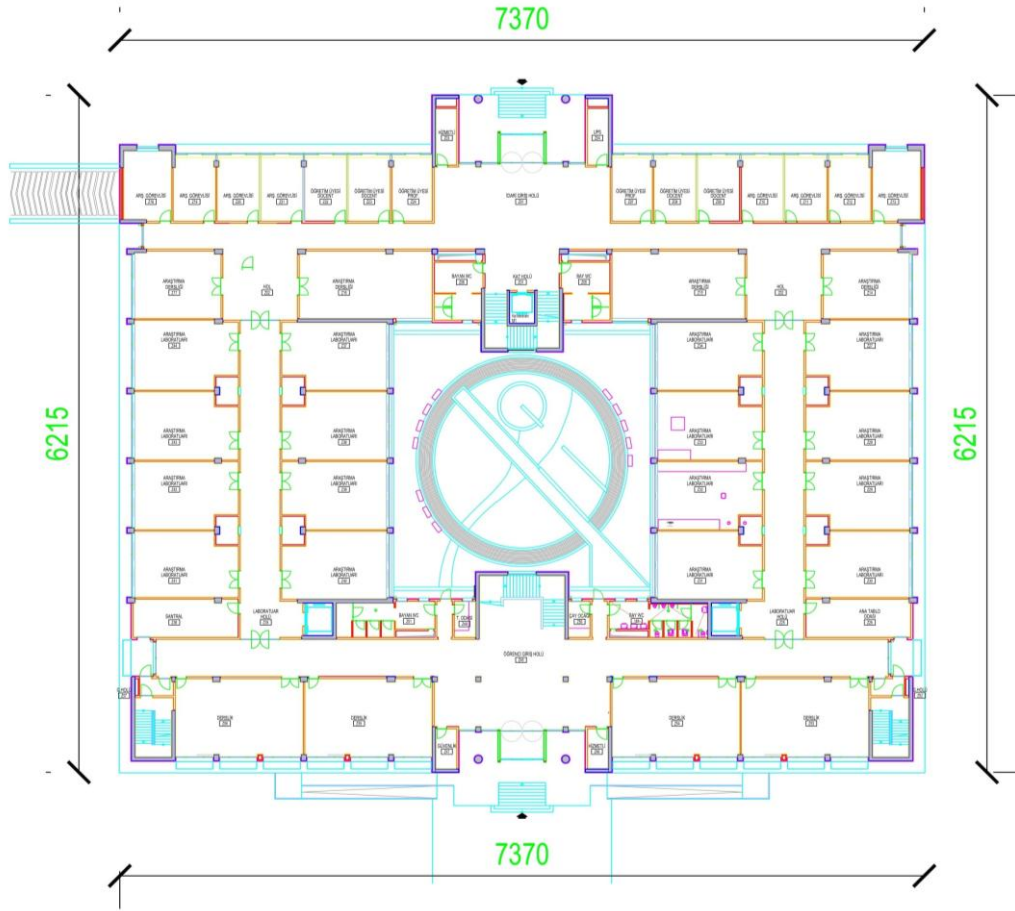
Şekil 3.7: Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binasına ait bir fotoğraf [Web 16, 2025].

Yapının genel yerleşim planı şu şekildedir:

- Bodrum kat planı: Depolardan, teknik hacimlerden ve servis mahalinden oluşmaktadır.
- Zemin kat planı (**Şekil 3.8**): Laboratuvarlardan, dersliklerden, araştırma görevlisi ve öğretim üyesi ofislerinden oluşur.

Tablo 3.6: Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok) Yapısal Özellikleri.

Taşıyıcı Sistem	Betonarme
Yapım Yılı	2011
Plan Boyutları (m)	73,70 x 62,15
Kat Adedi	1 Bodrum + 1 Zemin Kat + 2 Normal Kat + Teras Çatı
Kat Yüksekliği (m)	3.00 (Bodrum Kat) 4.50 (Zemin Kat ve Normal Katlar)
Brüt İnşaat Alanı (m²)	14095
Bina Servis Ömrü (yıl)	50



Şekil 3.8: Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Zemin Kat Planı.

- 1. kat planı: Laboratuvarlardan, dersliklerden, araştırma görevlisi ve öğretim üyesi ofislerinden oluşur.

- 2. kat planı: Laboratuvarlardan, dersliklerden, bölüm başkanlığı, araştırma görevlisi, öğretim üyesi ofislerinden ve öğrenci dinlenme alanında oluşur.
- Teras çatı planı: Asansör makine daireleri ve merdiven kulelerinden oluşur.

Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan edinilen mimari-statik projeler ve maliyet icmallerindeki metrajlardan ve malzeme bilgilerinden yararlanılarak Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok) için malzeme listeleri oluşturulmuştur. Araca girilen her bir malzeme için oluşturulan malzeme listesi, ilgili iş pozunun numarası, işin tanımı, malzemenin birimi, miktarı, türü ve One Click LCA aracında seçilen ürün açıklamaları ile birlikte Ek-B'de sunulmuştur.

- Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok): Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) (**Şekil 3.9**) plan boyutları, kat adedi, kat yüksekliği, brüt inşaat alanı, bina servis ömrü gibi yapısal özellikleri **Tablo 3.7**'te görülmektedir.



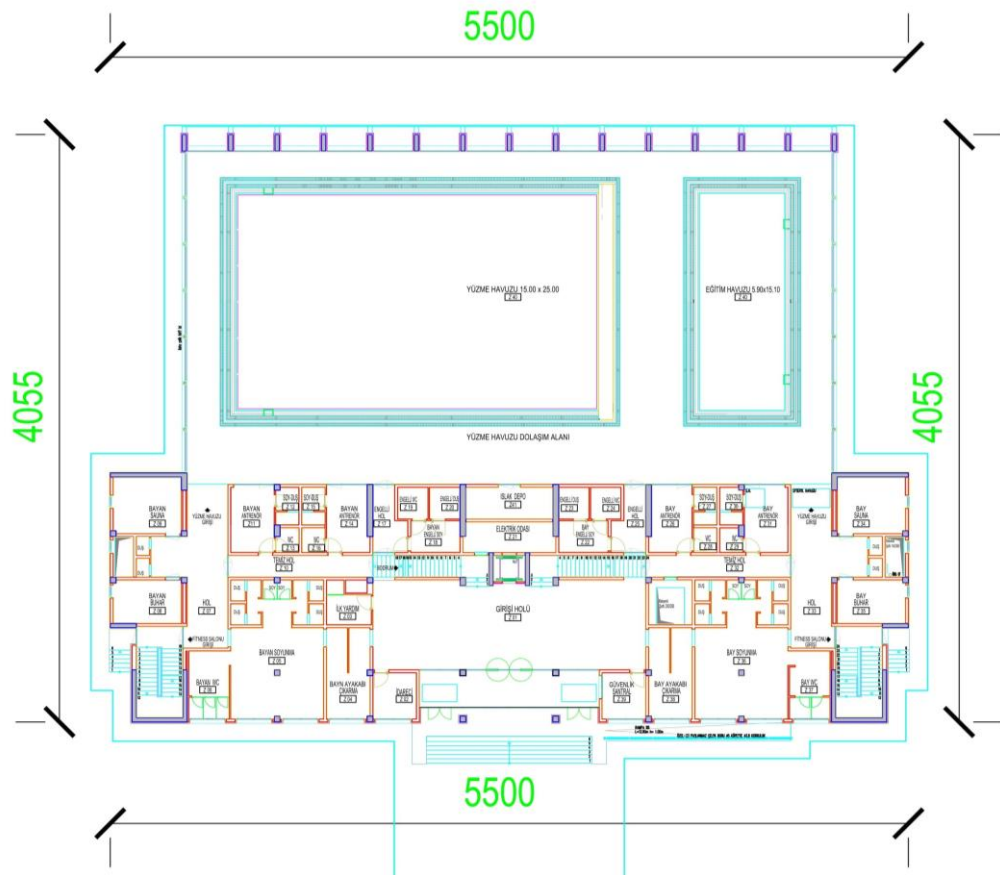
Şekil 3.9: Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binasına ait bir fotoğraf [Avinç, 2025].

Yapının genel yerleşim planı şu şekildedir:

- Bodrum kat planı: Yapı teknik hacimlerinden ve havuz mekanik hacimlerinden oluşur.
- Zemin kat planı (**Şekil 3.10**): Yüzme havuzlarından, antrenör odalarından, soyunma odaları, sauna, buhar odaları ve duşlardan oluşur.

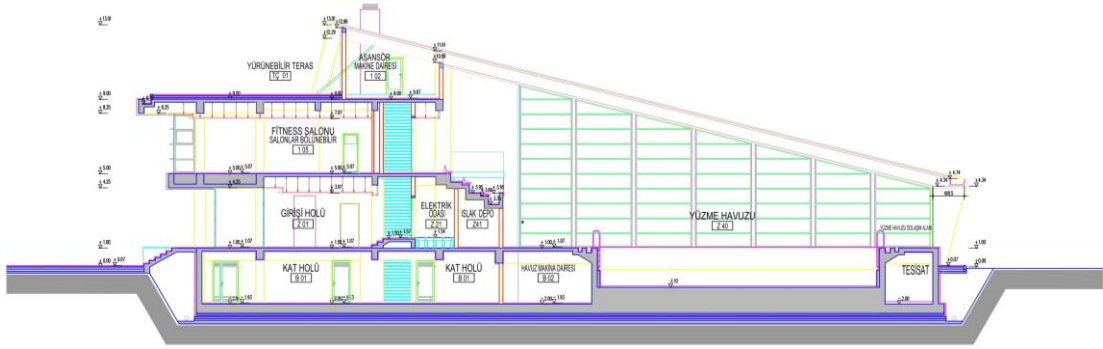
Tablo 3.7: Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) Yapısal Özellikleri.

Taşıyıcı Sistem	Betonarme + Çelik
Yapım Yılı	2014
Plan Boyutları (m)	55 x 44,18
Kat Adedi	1 Bodrum + 1 Zemin Kat + 1 Normal Kat + Teras Çatı
Kat Yüksekliği (m)	3 (Bodrum Kat) 4 (Zemin Kat ve Normal Katlar)
Brüt İnşaat Alanı (m²)	4372
Bina Servis Ömrü (yıl)	50



Şekil 3.10: Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası Zemin Kat Planı.

- 1. kat planı: Fitness salonu, masa tenisi salonu, kafeterya ve seyirci tribünlerinden oluşur.
- Teras çatı planı: Asansör makine daireleri ve merdiven kulelerinden oluşur.



Şekil 3.11: Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası Kesiti.

Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı’ndan edinilen mimari-statik projeler ve maliyet icmallerindeki metrajlardan ve malzeme bilgilerinden yararlanılarak Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) için malzeme listeleri oluşturulmuştur. Araca girilen her bir malzeme için oluşturulan malzeme listesi, ilgili iş pozunun numarası, işin tanımı, malzemenin birimi, miktarı, türü ve One Click LCA aracında seçilen ürün açıklamaları ile birlikte Ek-C’de sunulmuştur.

3.4.2 Verilerin Yazılım Aracına Girilmesi

Kampüs binalarının çevresel etkilerini değerlendirmek için her bir bina için çıkarılan malzeme miktarları yazılım aracına üç ayrı proje olarak girilmiştir. Her bir bina için yazılımda **Şekil 3.12**’de görüldüğü gibi proje ismi, tipi ve adresi gibi temel bilgiler girilerek proje oluşturulmuştur.

New project

1 Basic information 2 Optional informa... 3 First design 4 Options

Link project to the following licence [Hide](#) Enter licence key

One Click LCA Student (International) Business ... [Activate licence](#)

Name (mandatory)

Folder

Main Page (create or join a company account to...)

Type (mandatory)

If the building has several types, choose the most suitable.

Select

Address (mandatory)

Please provide the full project address if possible. If the full address is not available, you can enter the city or country.

Type in at least 3 characters to see options

Country (mandatory)

Turkey

[Cancel](#) [Back](#) [Next](#) Please provide at least the information highlighted as mandatory to proceed.

Şekil 3.12: Proje Bilgisi.

Proje oluşturma sürecinin ikinci aşamasında Bölüm 3.4.1’de verilen brüt inşaat alanı, zemin üstü kat sayısı, çerçeve tipi, proje görseli gibi bilgiler girilmiştir (Şekil 3.13).

New project

1 Basic information 2 Optional inform... 3 First design 4 Options

Gross Floor Area (m²)

m²

Number of above ground floors

Frame type

If not new construction, please choose "Existing frame/Not applicable". If you will evaluate several different frame types you can choose "Not determined".

Not determined/not sure

Image

Allowed file types: .jpg, .gif, .png.
Maximum file size is 1000 KB.

[Upload](#) Drag & Drop Files

Allowed image types are .jpg, .gif and .png. Maximum image size is 1MB. Suggested aspect ratio is 2:1 or the image will be cut off on the main page.

Certifications pursued

Start typing or click the arrow

Additional information (optional)

[Click to input data](#)

[Cancel](#) [Back](#) [Next](#)

Şekil 3.13: Projeye ait ek bilgiler.

Daha sonra tasarım sekmesi açılmaktadır. Burada da proje oluşturma sekmesindekine benzer veriler girilmiştir. Bu ekranda, değerlendirmesi yapılacak olan yapının ismi, analizin amaç ve kapsamı ile ilgili bilgilerin girişi yapılmıştır (Şekil 3.14).

Şekil 3.14: Proje tasarımına yönelik bilgiler.

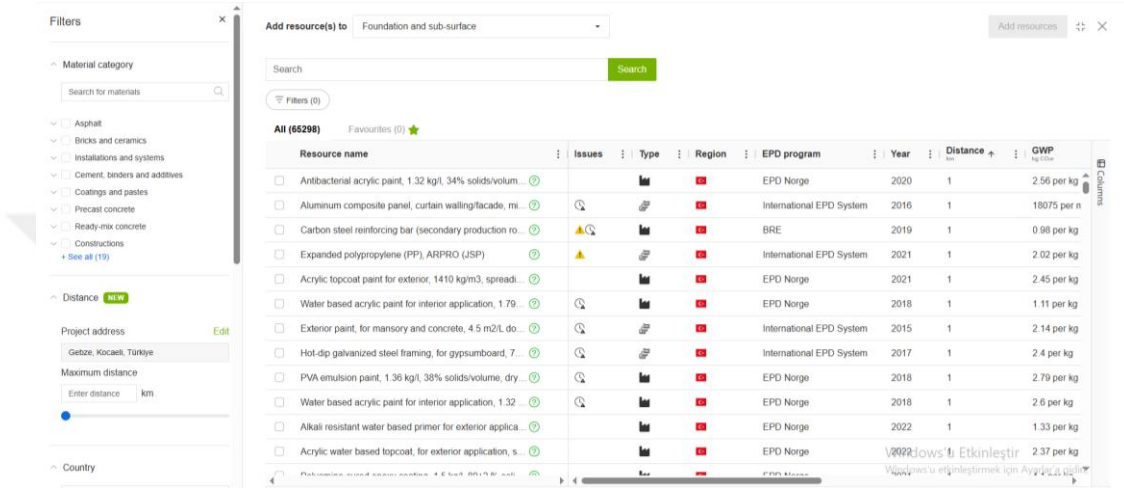
Yapı malzemeleri sayfasından, EK-A, EK-B ve EK-C’de sunulan malzemelerin miktarları girilmiştir (Şekil 3.15).

Building Part	Resource Name	Details	Quantity	Unit	Thickness	CO2e	Comment
Building systems	Structural steel plate (DONGKUK STEEL)		26.6	ton	72 t	114 Y23 101	114 Y23 101
Finishes	Vinyl flooring, 7.3 mm, 4.7 kg/m2, 644 kg/m3, Taraflex Sport (Serfor)		415.6	m2	7.3	141	11 25 116/511 PVC esnek zemin
Finishes	Glazed porcelain tiles, 10 mm, 22.21 kg/m2, 2220.6 kg/m3 (Ege Seramik)		607.29	m2	10	15 t	72 73 02EL-38 12.5'25 Ebe
Finishes	Ceramic wall tiles, 9 mm, 16.13 kg/m2, 1762.2 kg/m3 (Ege Seramik)		615.59	m2	9	6.7 t	125 Y26 006/405 (25 x 33 cm)
Finishes	Terrazzo slabs and tiles, 1-1/4 inch, 64 kg/m2, Terrazzo Lumina, PIXA, Sensible Terrazzo (Senot)		2123.36	m2	30	723 t	15 26 502/AN Beyaz çimento
Finishes	Quartzite		0.22	ton		8.95 t	20 27 534/AN Kireç çimento
Finishes	Water based interior wall paint, solids by volume: 30%, spreading rate: 14.95 - 10.7 m2/L, 1300 k		823.2	kg		11 t	121 Y25 003/02 Statik alçı
External walls and facade	Fiber reinforced dry mortar, binder 10-30%, aggregate 60-90%, filler 5-10%, water/therm 340 un		7058.4	kg		2 t	104 Y19 005/023 5 cm katın
Finishes	Waterborne epoxy coating, for carbon steel and galvanized steel, 2.5 kg/L, wet film thickness: 90 -		2000	m2	0.09	17 t	120 Y25 002/02 Demir yüzey
Foundation and sub-surface	Natural gravel and sand (Drunnar South Grusforreining, Laupfing plant)		2267943	kg		0.14 t	1 2 15 140/AN Tüvenen Kum
Finishes	Water based textured exterior paint, 1600 kg/m3, 43 x 2 % solids/volume, Jotamfield Decor high		328.4	kg		1.2 t	12 25 004/05 Bral beton

Şekil 3.15: Yapı malzemesi girişi

Malzemeler yazılım aracına girilirken kaynak ekleme sekmesi kullanılmıştır. Bu sekmede bulunan filtreleme aracı kullanılarak malzemenin kategorisi, birimi, tipi, menşei ülkesi gibi özellikler filtrelerenerek arama yapılmış, mimari projeler ve poz

tanımlarına en uygun malzemeler araştırma sekmesi aracılığı ile anahtar kelimeler girilerek bulunmuştur. Yerel yapı malzemelerinin bulunamadığı durumlarda yazılım aracı arka planında malzeme verilerini yerelleştirme imkanı sağladığı için yabancı menşeli ürünler seçilmiştir. Yazılım aracı, A1 (hammadde temini), A2 (üretim sahasına taşıma), A3 (malzeme üretimi) aşamalarına ait gerekli hesaplama verilerini direkt olarak seçilen malzemelere ait ÇÜB’lerden almaktadır.

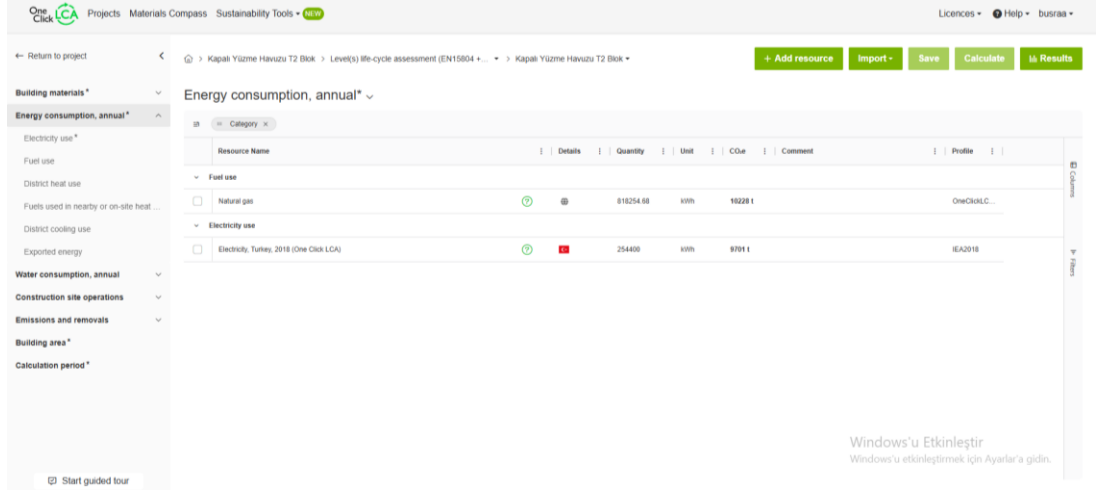


Şekil 3.16: Yapı malzemesi sekmesi, Filtre yan penceresi.

Toplam yıllık enerji tüketimi ise yıllık enerji tüketimi sekmesinden (Şekil 3.17) girilmiştir. Çalışma kapsamında, 2024 yılı doğalgaz ve elektrik verileri üç kampüs binası için yazılıma girilmiştir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8: Kampüs binaları için One Click LCA aracına girilen 2024 yılı enerji tüketim verileri.

Bina Adı	Yıllık Doğalgaz Tüketimi	Yıllık Elektrik Tüketimi
	kWh/yıl	kWh/yıl
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok)	395.474,455	547.000,000
Çevre-Kimya Binası (I2 Blok)	576.443,497	1.478.500,000
Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok)	818.254,675	254.400,000

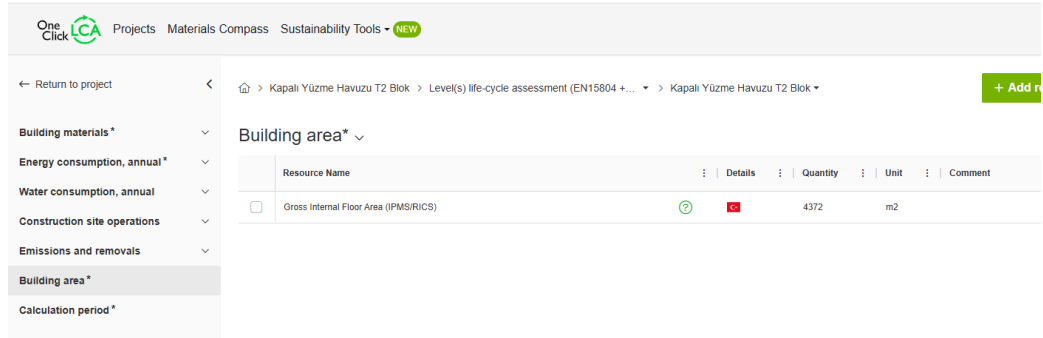


Şekil 3.17: Yıllık enerji tüketimi sekmesi.

Kat alanı başına YDD etkilerini hesaplamak ve kıyaslama yapmak için kullanılmak üzere inşaat alanı sekmesinden brüt inşaat alanı veri girişi yapılmıştır (**Şekil 3.18**).

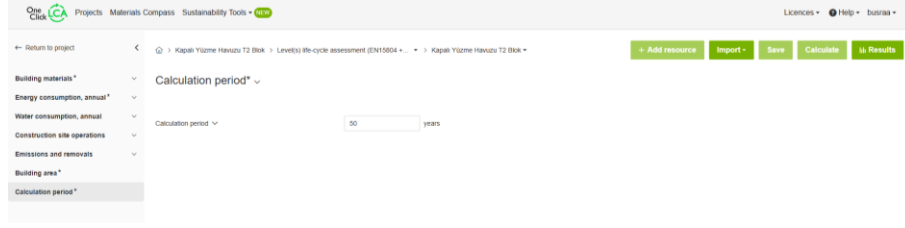
Tablo 3.9: Kampüs binaları için One Click LCA aracına girilen brüt inşaat alanları.

Bina Adı	Brüt İnşaat Alanı (m ²)
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok)	14095 m ²
Çevre-Kimya Binası (I2 Blok)	16476 m ²
Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok)	4372 m ²



Şekil 3.18: İnşaat alanı sekmesi.

Binanın servis ömrü bilgisi ise hesaplama süresi sekmesinden (**Şekil 3.19**) girilmektedir. Bu çalışmada her üç yapı için de servis ömrü 50 yıl olarak alınmıştır.



Şekil 3.19: Hesaplama süresi sekmesi.

Verilerin girilmesinin ardından arayüzün sol üst köşede bulunan sonuçlar sekmesine girilerek çeşitli grafik ve tablolar aracılığıyla sonuçların yorumlanması gerçekleştirilmiştir.

3.5 Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)

YDED aşaması malzemelere ait verilen girilmesinin ardından, malzemelerin çevresel etki değerlerinin belirlendiği evredir. Bu bağlamda, One Click LCA aracına girilen veriler sonucunda, Üç binanın A1 (hammadde temini), A2 (taşıma), A3 (malzeme üretimi) ve B6 (kullanım enerjisi) aşamalarındaki çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

Etki değerlendirmesinde CML metodolojisi temel alınmış ve TS EN 15978 standardı çerçevesinde, küresel ısınma potansiyeli, biyolojik karbon depolama, ozon tabakasının incelmesi, asitleşme, ötrofikasyon, troposferik ozon ve fotokimyasal oksidanların oluşma potansiyeli, fosil olmayan kaynakların tükenme potansiyeli, fosil yakıtların tükenme potansiyeli ve birincil enerjinin toplam kullanımı gibi 9 farklı çevresel etki kategorisi analiz edilmiştir. Ele alınan çevresel etki değerlerinin birimleri **Tablo 3.10**'da belirtilmiştir.

Tablo 3.10: Çalışma kapsamında ele alınan çevresel etki kategorileri ve birimleri [CEN, 2011].

Etki Kategorisi	Birim
Küresel ısınma potansiyeli, GWP	kg CO ₂ eq
Biyolojik karbon depolama	kg CO ₂ eq bio
Ozon tabakasının incelmesi	kg CFC ₁₁ eq

Tablo 3.10: Devam.

Asitleşme	kg SO ₂ eq
Ötrofikasyon	kg PO ₄ eq
Traposferik ozon ve fotokimyasal oksidanların oluşma potansiyeli	kg Ethenee
Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP elementleri)	kg Sbe
Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar)	MJ
Birincil Enerjinin Toplam Kullanımı	MJ

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

CML metodolojisi çerçevesinde üç bina için A1-3 ve B6 evrelerindeki, küresel ısınma potansiyeli, biyolojik karbon depolama, ozon tabakasının incelmesi, asitleşme, ötrofikasyon, troposferik ozon ve fotokimyasal oksidanların oluşma potansiyeli, fosil olmayan kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP elementleri), fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) ve birincil enerjinin toplam kullanımı etki kategorileri izleyen alt bölümlerde ayrı ayrı değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Kampüs binaları farklı inşaat alanlarına sahip olduğundan karşılaştırmanın doğruluğu açısından her çevresel etki kategorisi için sonuçlar hem toplam olarak hem de 1 m² birim alana göre normalize edilerek sunulmuştur. Yazılıma girilen verilere ve hesaplamalara göre, üç üniversite yapısı için YDD sonuçları sırasıyla **Tablo 4.1**, **Tablo 4.2** ve **Tablo 4.3**'de sunulmaktadır.

Tablo 4.1: Çevre-Kimya I2 Blok yaşam döngüsü çevresel etki sonuçları.

Çevre-Kimya I2 Blok										
Yaşam döngüsü modülleri	Yaşam döngüsü aşamaları	Küresel Isınma Potansiyeli kg CO ₂ eq	Biyolojik Karbon Depolama kg CO ₂ eq bio	Ozon Tabakasının İncelmesi kg CFC ₁₁ eq	Asitleşme kg SO ₂ eq	Ötrofikasyon kg PO ₄ eq	Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyeli kg Ethenee	Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP elementleri) kg Sbe	Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ	Birincil Enerjinin Toplam Kullanımı MJ
A1-A3 B6	Yapı malzemeleri üretimi	9,11E+06	8,41E+04	1,03E+02	2,79E+04	1,27E+04	1,86E+06	3,15E+03	7,86E+07	8,64E+07
	Enerji kullanımı	5,55E+07		2,16E+00	3,40E+05	7,99E+04	1,24E+04	1,28E+02	6,75E+08	8,27E+08
	Toplam	6,46E+07	8,41E+04	1,05E+02	3,68E+05	9,26E+04	1,88E+06	3,28E+03	7,54E+08	9,13E+08
	1 m2 birim alana göre sonuçlar	3,92E+03	5,10E+00	6,35E-03	2,23E+01	5,62E+00	1,14E+02	1,99E-01	4,58E+04	5,54E+04

Tablo 4.2: Malzeme Bilimi ve Mühendisligi- H2 Blok yaşam döngüsü çevresel etki sonuçları.

Malzeme Bilimi ve Mühendisligi- H2 Blok										
Yaşam döngüsü modülleri	Yaşam döngüsü aşamaları	Küresel Isınma Potansiyeli kg CO ₂ eq	Biyolojik Karbon Depolama kg CO ₂ eq bio	Ozon Tabakasının İncelmesi kg CFC ₁₁ eq	Asitleşme kg SO ₂ eq	Ötrofikasyon kg PO ₄ eq	Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyeli kg Ethenee	Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP elementleri) kg Sbe	Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ	Birincil Enerjinin Toplam Kullanımı MJ
A1-A3 B6	Yapı malzemeleri üretimi	8,90E+06	9,85E+04	1,27E+02	2,49E+04	1,52E+04	1,33E+06	3,96E+03	8,19E+07	8,94E+07
	Enerji kullanımı	2,28E+07		9,80E-01	1,28E+05	2,99E+04	4,84E+03	5,21E+01	2,83E+08	3,40E+08
	Toplam	3,17E+07	9,85E+04	1,28E+02	1,53E+05	4,51E+04	1,33E+06	4,01E+03	3,65E+08	4,29E+08
	1 m2 birim alana göre sonuçlar	2,25E+03	6,99E+00	9,06E-03	1,08E+01	3,20E+00	9,44E+01	2,84E-01	2,59E+04	3,05E+04

Tablo 4.3: Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok yaşam döngüsü çevresel etki sonuçları.

Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok										
Yaşam döngüsü modülleri	Yaşam döngüsü aşamaları	Küresel Isınma Potansiyeli kg CO ₂ eq	Biyolojik Karbon Depolama kg CO ₂ eq bio	Ozon Tabakasının İncelmesi kg CFC ₁₁ eq	Asitleşme kg SO ₂ eq	Ötrofikasyon kg PO ₄ eq	Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyeli kg Ethenee	Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP elementleri) kg Sbe	Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar) MJ	Birincil Enerjinin Toplam Kullanımı MJ
A1-A3 B6	Yapı malzemeleri üretimi	3,14E+06	2,13E+03	1,94E+01	1,02E+04	4,58E+03	1,73E+06	3,71E+02	2,86E+07	3,37E+07
	Enerji kullanımı	1,99E+07		1,17E+00	7,14E+04	1,65E+04	3,33E+03	3,61E+01	2,69E+08	2,91E+08
	Toplam	2,31E+07	2,13E+03	2,06E+01	8,16E+04	2,10E+04	1,74E+06	4,07E+02	2,97E+08	3,25E+08
	1 m2 birim alana göre sonuçlar	5,28E+03	4,87E-01	4,71E-03	1,87E+01	4,81E+00	3,97E+02	9,31E-02	6,80E+04	7,43E+04

4.1 Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)

Küresel ısınma potansiyeli (GWP), atmosferdeki sera gazı emisyonlarındaki artışın yol açtığı küresel yüzey sıcaklıklarındaki değişimi ifade eder. CML tabanlı yöntem kullanıldığında, bu çıktılar kilogram karbondioksit eşdeğeri (kg CO₂ eq) birimiyle gösterilir [Web 17, 2025].

Çalışma kapsamında incelenen üç farklı üniversite binası – I2 Blok (Çevre-Kimya), H2 Blok (Malzeme Bilimi ve Mühendisliği) ve T2 Blok (Kapalı Yüzme Havuzu) – için YDD sonuçları doğrultusunda GWP değerleri karşılaştırılmıştır. Analiz, hem toplam sera gazı emisyonları hem de 1 m² birim alana göre normalize edilmiş değerler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Toplam GWP açısından en yüksek değere I2 Blok sahiptir. Bu yapıda malzeme üretimi aşaması (A1-3) kaynaklı emisyonlar yaklaşık $9,11 \times 10^6$ kg CO₂ eq, kullanım süresince gerçekleşen enerji tüketimi (B6) kaynaklı emisyonlar ise $5,55 \times 10^7$ kg CO₂ eq olarak belirlenmiştir. Toplamda $6,46 \times 10^7$ kg CO₂ eq'lik sera gazı salımı gerçekleşmiş olup, bu miktarın yaklaşık %86'sı enerji kullanımından, %14'ü ise yapı malzemelerinden kaynaklanmaktadır. 1 m² birim alana karşılık gelen GWP değeri ise 3.920 kg CO₂ eq/m²'dir. Bu oran, binanın kullanım sürecindeki enerji ihtiyacının çevresel etkiler üzerindeki baskın rolünü ortaya koymaktadır.

H2 Blok'ta ise A1-3 aşamasında $8,90 \times 10^6$ kg CO₂ eq, B6 aşamasında $2,28 \times 10^7$ kg CO₂ eq emisyon gerçekleşmiş olup, toplam GWP değeri $3,17 \times 10^7$ kg CO₂ eq'dir. Bu değer, I2 Blok'a kıyasla %51 daha düşük bir toplam küresel ısınma potansiyeli anlamına gelmektedir. Ayrıca emisyon dağılımı daha dengelidir; toplam GWP'nin yaklaşık %28'i malzeme üretiminden, %72'si ise enerji kullanımından kaynaklanmaktadır. 1 m² başına düşen GWP değeri 2.250 kg CO₂ eq/m² ile çalışmadaki en düşük oran olup, bu yapı daha sürdürülebilir bir profil sunmaktadır.

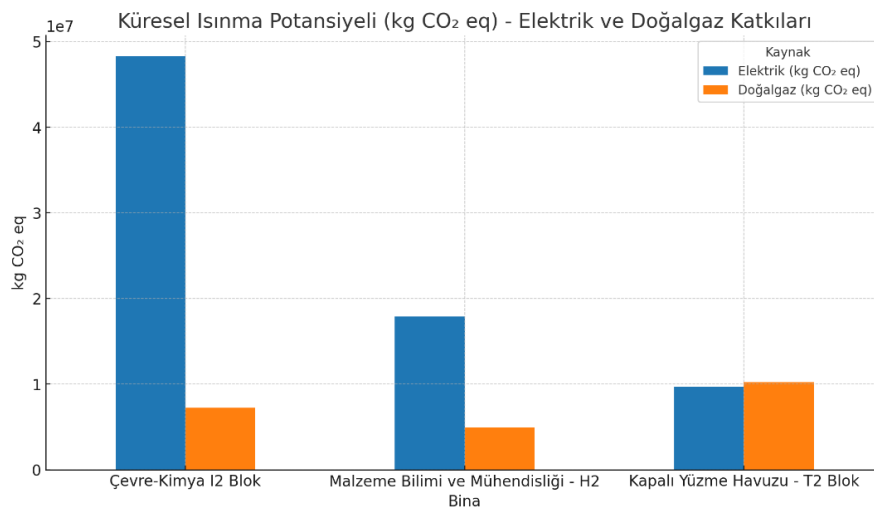
T2 Blok'ta ise A1-A3 kaynaklı GWP değeri $3,14 \times 10^6$ kg CO₂ eq, B6 kaynaklı değer ise $1,99 \times 10^7$ kg CO₂ eq olarak hesaplanmıştır. Toplam GWP değeri $2,30 \times 10^7$ kg CO₂ eq ile en düşük toplam değere sahip yapı olmasına karşın, 1 m² başına düşen GWP değeri 5.280 kg CO₂ eq/m² ile çalışmada en yüksek seviyededir. Bu yapı, H2 Blok'a göre m² başına yaklaşık %135 daha fazla, I2 Blok'a göre ise %35 daha fazla sera gazı emisyonu üretmektedir. Bu durum, binanın kullanım biçiminin (ısıtılmalı havuz,

havalandırma, nem kontrolü vb.) çevresel etkileri nasıl artırabildiğini açıkça göstermektedir.

Sonuç olarak, çalışmada kullanım sürecindeki enerji tüketiminin yaşam döngüsü içerisindeki sera gazı emisyonlarına etkisinin belirleyici olduğu görülmektedir. I2 ve T2 bloklarında toplam GWP'nin %85'in üzerinde bir oranla enerji kullanımından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Buna karşın, H2 Blok hem üretim hem de kullanım aşamalarında daha düşük çevresel etkilere sahip olup, toplam GWP'si I2 Blok'tan %51, T2 Blok'tan ise %28 daha azdır. Ayrıca m² başına GWP karşılaştırmasında H2 Blok, T2 Blok'tan %57 daha az karbon salımı gerçekleştirmiştir. Bu bulgular, enerji tüketiminin azaltılması ve yapı kullanım biçiminin tasarıma entegre edilmesinin, sürdürülebilirlik açısından kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Her üç üniversite binasının GWP incelendiğinde, elektrik ve doğalgaz tüketiminin bu kategorideki en baskın kaynak olduğu açıkça görülmektedir. Elektrik üretimi sırasında özellikle termik santrallerde fosil yakıtların yakılması, önemli miktarda SO₂ emisyonuna neden olarak bu etkinin başlıca sebebidir.

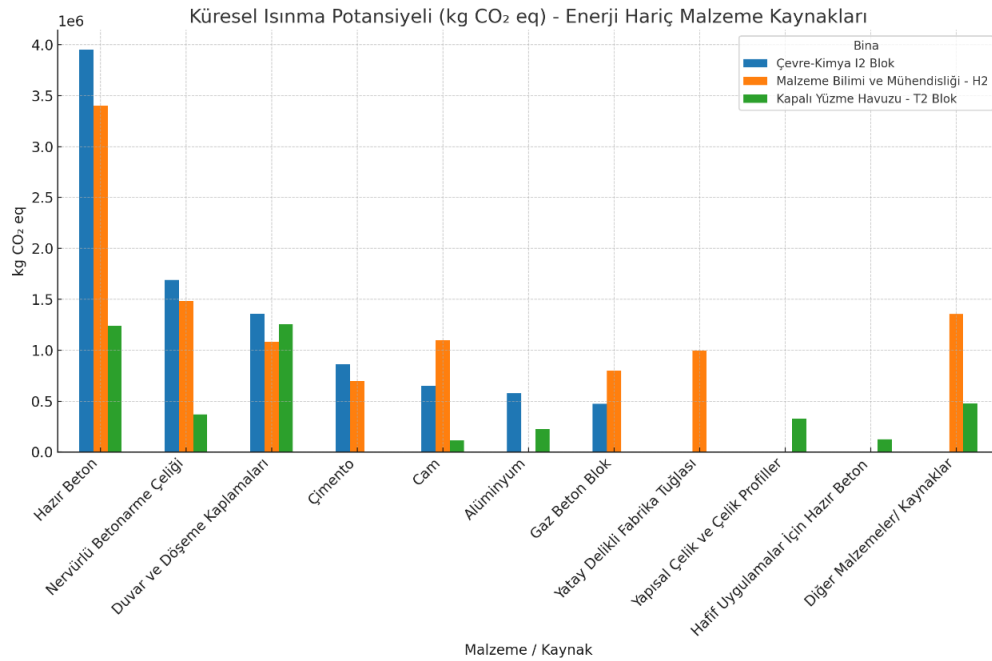
Çevre-Kimya (I2 Blok), yaklaşık 48 milyon kg CO₂ eşdeğeri ile en yüksek elektrik tüketimi GWP'sine sahiptir. Bu durum, bina içerisindeki enerji yoğun laboratuvar ekipmanları, aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerinin yoğun kullanımından kaynaklanmaktadır. Doğalgaz tüketimi ise yaklaşık 7.2 milyon kg CO₂ eşdeğeri ile elektrikten sonra ikinci büyük etkiyi yaratır (**Şekil 4.1**).



Şekil 4.1: Küresel Isınma Potansiyeline elektrik ve doğalgaz katkıları (kg CO₂ eq).

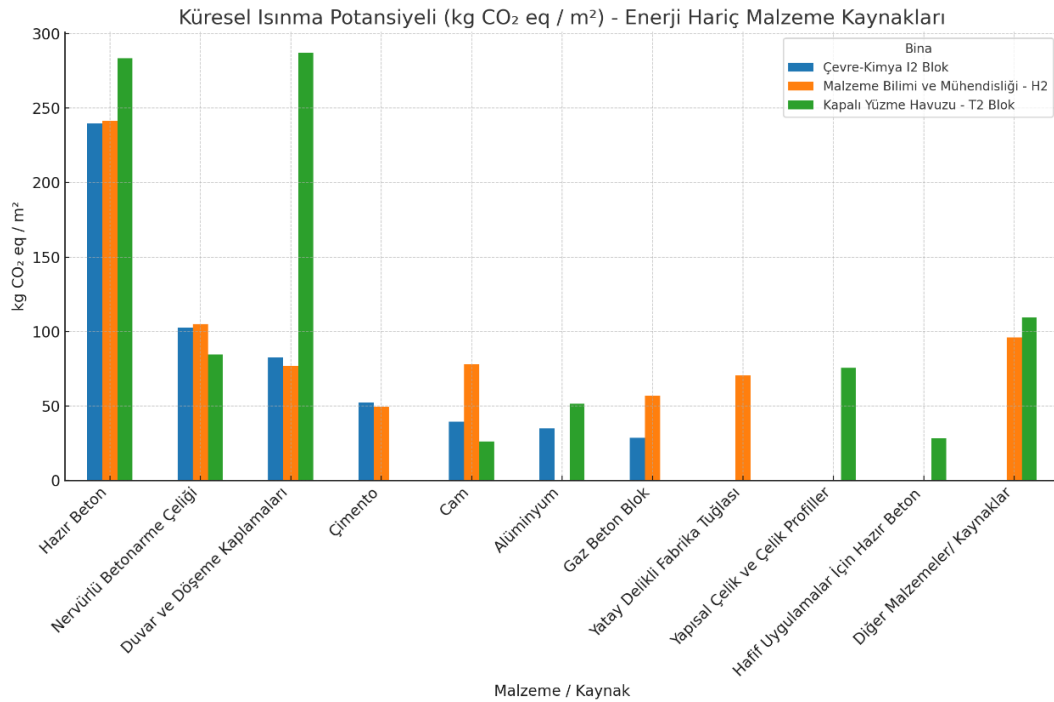
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok) da Çevre-Kimya (I2 Blok) Binası'na benzer şekilde yaklaşık 17.8 milyon kg CO₂ eşdeğeri ile elektrik tüketimini en büyük etken olarak listelerken, doğalgaz tüketimi ise yaklaşık 4.9 milyon kg CO₂ eşdeğeri ile onu takip eder. Bu iki bina, yoğun laboratuvar faaliyetleri ve genel enerji ihtiyaçları nedeniyle benzer bir GWP profili sergiler. Ancak Kapalı Yüzme Havuzu Binası (T2 Blok), diğerlerinden belirgin bir şekilde ayrışır. Yaklaşık 10.2 milyon kg CO₂ eşdeğeri ile doğalgaz, bu binada GWP'ye en büyük katkıyı sağlayan kaynak konumundadır. Bu durum, havuz suyunun ısıtılması, iç mekan nem kontrolü ve ısıtma sistemleri için gereken yüksek enerji miktarından kaynaklanır. Elektrik tüketimi ise yaklaşık 9.7 milyon kg CO₂ eşdeğeri ile doğalgaza çok yakın bir etkiye sahiptir; havalandırma sistemleri, pompalar ve aydınlatma gibi havuz ekipmanlarının enerji ihtiyacı bu etkiyi tetikler. T2 Bloğun enerji profilindeki bu farklılaşma, binanın özelleşmiş fonksiyonel gereksinimlerinin bir sonucudur.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi enerji tüketiminin ardından, yapı malzemeleri GWP üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Her üç binada da hazır beton ve nervürlü betonarme çeliği, çimento üretiminin ve çelik imalatının yüksek karbon ayak izi nedeniyle GWP'ye en çok etki eden yapı malzemeleri arasında yer alır.



Şekil 4.2: Küresel Isınma Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg CO₂ eq).

Çevre-Kimya I2 Blok ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok binalarında bu temel yapı elemanlarının etkisi, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'na göre daha yüksek olup, bu binaların genel yapısal büyüklükleri ve karmaşıklıklarına işaret edebilir. Ancak T2 Blok (Kapalı Yüzme Havuzu Binası), yapısal sistemi nedeniyle diğer binalardan önemli farklılıklar gösterir. Çevre-Kimya I2 Blok ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok binaları tamamen betonarme yapım sistemine sahipken, T2 Blok karma bir yapım sistemi yani betonarme ve çelik birleşimi ile inşa edilmiştir. Bu nedenle, T2 Bloğun GWP profilinde yapısal çelik ve çelik profiller yaklaşık 330 bin kg CO₂ eşdeğeri ile kayda değer bir yer tutar. Bu durum, havuz yapısının açıklıklarını ve taşıyıcı sistem gereksinimlerini karşılamak için çeliğin yoğun olarak kullanıldığını gösterir. Ayrıca, T2 Bloktaki artan ıslak hacimler ve havuz alanlarının varlığı, duvar ve döşeme kaplamalarında ciddi bir artışa neden olmuştur. T2 Bloкта bu kategori yaklaşık 1.25 milyon kg CO₂ eşdeğeri ile Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok ve Çevre-Kimya I2 Blok binalarındaki ilgili etkilere kıyasla daha yüksek bir orana sahiptir. Bu, havuz çevresindeki ve diğer ıslak alanlardaki suya dayanıklı ve özel kaplama malzemelerinin yoğun kullanımının bir sonucudur ve bu malzemelerin üretim süreçlerinin GWP üzerindeki etkisini açıkça ortaya koyar (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Küresel Isınma Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg CO₂ eq/ m²).

Cam miktarları da binalar arasında farklılık gösterir. Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nda yaklaşık 650 bin kg CO₂ eşdeğeri ile camın etkisi varken, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nda bu miktar 1.1 milyon kg CO₂ eşdeğerine yükselir. Bu durum, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın cephesinde daha fazla cam yüzeyin kullanılmasının bir etkisidir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda ise camın GWP etkisi yaklaşık 115 bin kg CO₂ eşdeğeri ile diğerlerine göre daha düşüktür, bu da genellikle havuz binalarının daha kapalı ve kontrollü bir iç ortama sahip olmasından kaynaklanır.

4.2 Biyolojik Karbon Depolama

Odun ve biyoatık gibi biyokütle malzemelerinin yakılmasıyla ortaya çıkan salımlar, biyojenik karbon emisyonları olarak adlandırılır. Karbondioksitin atmosfere salınımını önlemek adına biyojenik karbon yakalama ve depolama süreçleri devreye girer. CML tabanlı yöntemde, bu durum kg CO₂ eşdeğeri biyo (kg CO₂ eq bio) birimiyle ifade edilir [Web 17, 2025].

Üç üniversite yapısı için gerçekleştirilen YDD kapsamında analiz edilen çevresel etki kategorilerinden biri de biyolojik karbon depolamadır. Söz konusu etki, yalnızca A1-A3 aşamasında, yani yapı malzemelerinin üretimi sırasında dikkate alınmakta; kullanım aşamasında (B6) herhangi bir biyojenik karbon depolama etkisi söz konusu olmamaktadır.

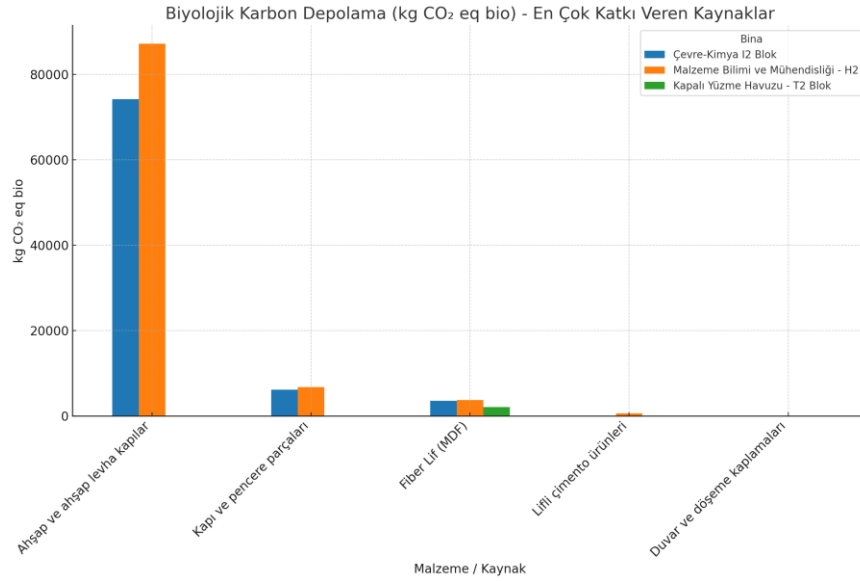
I2 Blok (Çevre-Kimya) için malzeme üretimi kaynaklı biyolojik karbon depolama miktarı $8,41 \times 10^4$ kg CO₂ eq bio olarak hesaplanmıştır. Bu yapı, 1 m² birim alan başına 5,10 kg CO₂ eq bio karbonu bünyesinde depolamaktadır. Benzer şekilde, H2 Blok (Malzeme Bilimi ve Mühendisliği) yapısında bu değer $9,85 \times 10^4$ kg CO₂ eq bio, yani I2 Blok'a göre yaklaşık %17 daha fazla karbon depolama potansiyeline sahiptir. 1 m² başına karşılık gelen değer ise 6,99 kg CO₂ eq bio olup, çalışmadaki en yüksek orana sahiptir. Bu durum, H2 Blok'ta biyobazlı veya ahşap içerikli ürünlerden kaynaklanan karbon tutma kapasitesinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Buna karşın, T2 Blok (Kapalı Yüzme Havuzu) için malzeme üretimi kaynaklı biyolojik karbon depolama değeri yalnızca $2,13 \times 10^3$ kg CO₂ eq bio olarak hesaplanmıştır. Bu miktar, H2 Blok'un %2'sinden daha azdır ve I2 Blok'a kıyasla da yaklaşık %97,5 oranında daha düşüktür. T2 Blok'un 1 m² başına düşen karbon

depolama miktarı ise yalnızca 0,487 kg CO₂ eq bio seviyesindedir. Bu düşük değer, yapıda biyobazlı malzeme kullanımının çok sınırlı olduğunu ve yapının karbon tutma kapasitesinin neredeyse yok denecek kadar az olduğunu göstermektedir.

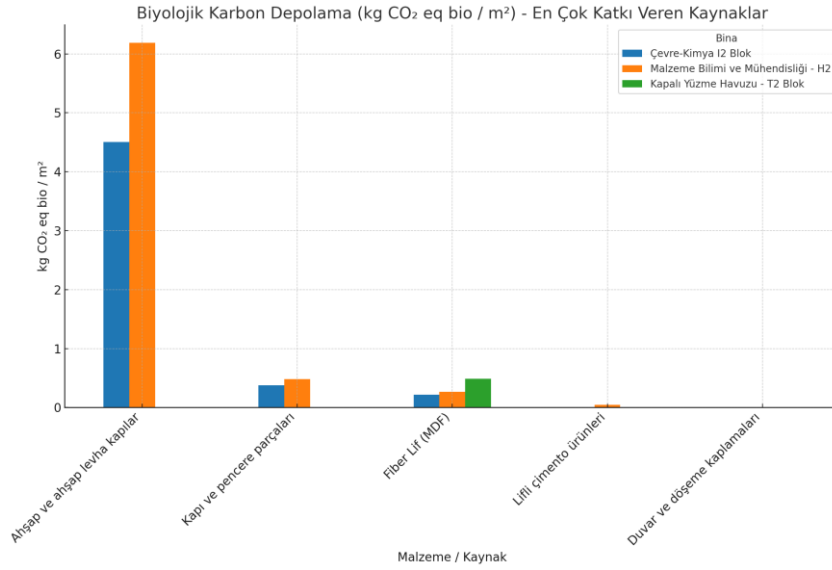
Bu veriler doğrultusunda, çalışmadaki en yüksek biyolojik karbon depolama potansiyeli H2 Blok'ta gözlemlenmiş olup, bu yapı hem toplam hem de m² başına en yüksek karbon yutma performansını göstermektedir. I2 Blok orta düzeyde bir karbon depolama kapasitesine sahipken, T2 Blok bu etki kategorisinde oldukça zayıf bir performans sergilemektedir. Biyobazlı malzeme kullanımının yapının karbon ayak izi üzerindeki azaltıcı etkisi, bu karşılaştırmalar sayesinde somut bir şekilde ortaya konmaktadır.

Bu kategori incelendiğinde, her üç binada da biyolojik karbon depolamasının ana kaynağının ahşap bazlı ürünler olduğu açıkça görülmektedir. Çevre-Kimya Binası (I2 Blok) ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası (H2 Blok), **Şekil 4.4**'te görüldüğü gibi, biyolojik karbon depolama potansiyeli açısından oldukça benzer profiller sergilemektedir. Her iki binada da ahşap ve ahşap levha kapılar açık ara en büyük depolama kapasitesini sağlamaktadır. Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nda bu değer yaklaşık 74.218 kg CO₂ eşdeğeri iken, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nda bu miktar biraz daha yüksek olup yaklaşık 87.209 kg CO₂ eşdeğerine ulaşmaktadır. Bu fark, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nda daha fazla ahşap kapı veya ahşap levha kullanılan alan olmasından kaynaklanmaktadır. Her iki binada da kapı ve pencere parçaları ile Fiber Lif (MDF) ürünleri de kayda değer, ancak ahşap kapılara göre çok daha düşük miktarlarda biyolojik karbon depolamaktadır. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nda ayrıca küçük bir miktarda lifli çimento ürünlerinden kaynaklanan biyolojik karbon depolaması da görülmektedir (**Şekil 4.5**).



Şekil 4.4: Biyolojik Karbon Depolamayı en çok artıran kaynaklar/malzemesler (kg CO₂ eq bio).

Ancak Kapalı Yüzme Havuzu Binası (T2 Blok), diğer iki binaya göre biyolojik karbon depolama açısından belirgin şekilde daha düşük bir profile sahiptir. T2 Blok'ta en büyük etkiyi yaklaşık 2.129 kg CO₂ eşdeğeri ile Fiber Lif (MDF) yaratmaktadır. Duvar ve döşeme kaplamaları ise yok denecek kadar az bir etki (0.61 kg CO₂ eşdeğeri) göstermektedir. Bu durum, havuz gibi nemli ve suya maruz kalan bir ortamda ahşap bazlı malzemelerin kullanımının sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Ahşap malzemelerin nem hassasiyeti ve dayanıklılık gereksinimleri nedeniyle bu tür ortamlarda genellikle alternatif, daha neme dayanıklı malzemeler tercih edilmektedir. Bu da T2 Bloğun toplam biyolojik karbon depolama potansiyelinin diğer binalara kıyasla neden bu kadar düşük olduğunu açıklamaktadır.



Şekil 4.5: Biyolojik Karbon Depolamayı en çok artıran kaynaklar/malzemesler (kg CO₂ eq bio/m²).

4.3 Ozon Tabakasının İncelmesi (ODP)

Ozon tabakasının incelmesi (Ozon delme potansiyeli), stratosferdeki ozon tabakasının tahribatını ifade eder. Bu tabaka, zararlı güneş ışınlarını emerek dünya yüzeyine ulaşmasını engeller. CML tabanlı yöntemle yapılan ölçümlerde, bu etki kg CFC₁₁ eşdeğeri (kg CFC₁₁ eq) birimiyle ifade edilir [Web 17, 2025]. Ozon tabakasının incelmesi, özellikle insan sağlığı açısından zararlı ultraviyole (UV) ışınlarının yeryüzüne ulaşmasına neden olarak küresel ölçekte ciddi çevresel ve sağlık problemlerine yol açmaktadır.

Analiz edilen yapılardan I2 Blok (Çevre-Kimya) için A1-A3 aşamasında (malzeme üretimi) ozon tabakasına zarar verici madde salımı $1,03 \times 10^2$ kg CFC₁₁ eq olarak hesaplanmıştır. Kullanım sürecindeki enerji tüketimi (B6) kaynaklı katkı ise 2,16 kg CFC₁₁ eq ile sınırlı kalmıştır. Bu yapı özelinde toplam ozon incelmesi etkisinin %98'i malzeme kaynaklı, yalnızca %2'si enerji tüketimi kaynaklıdır. I2 Blok'un 1 m² başına düşen ozon tabakası incelmesi potansiyeli ise $6,35 \times 10^{-3}$ kg CFC₁₁ eq/m²'dir.

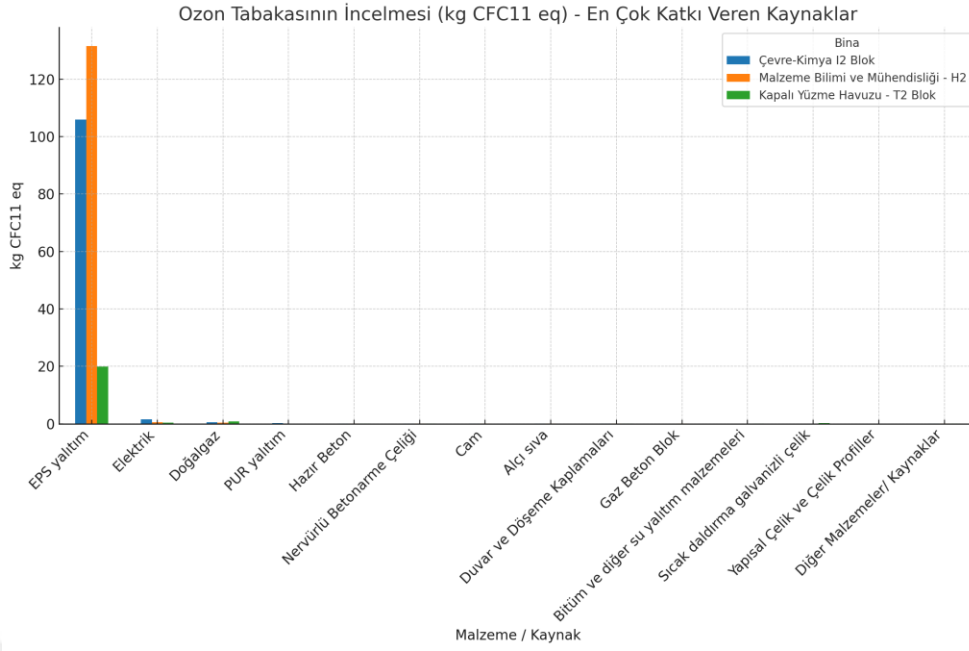
H2 Blok (Malzeme Bilimi ve Mühendisliği) ise bu etki kategorisinde en yüksek toplam değere sahip yapı olarak öne çıkmaktadır. A1-3 aşamasındaki değer $1,27 \times 10^2$ kg CFC₁₁ eq, B6 aşamasındaki değer ise 0,98 kg CFC₁₁ eq olarak belirlenmiştir. Toplam

ozon tabakası incelmesi değeri, I2 Blok'a kıyasla yaklaşık %23 daha fazladır. 1 m² başına düşen değer ise $9,06 \times 10^{-3}$ kg CFC₁₁ eq/m² olup, bu yapı çalışmadaki en yüksek birim alan etkisini göstermektedir.

T2 Blok (Kapalı Yüzme Havuzu) ise bu etki kategorisinde en düşük değerlere sahiptir. A1-A3 aşamasında yalnızca $1,94 \times 10^1$ kg CFC₁₁ eq, B6 aşamasında ise 1,17 kg CFC₁₁ eq salımı gerçekleşmiştir. Malzeme kaynaklı katkı %94 civarındayken, enerji kaynaklı etki %6 düzeyindedir. Toplam ozon incelmesi potansiyeli, H2 Blok'a kıyasla yaklaşık %85, I2 Blok'a kıyasla ise %78 daha düşüktür. 1 m² başına düşen ozon incelmesi potansiyeli ise yalnızca $4,71 \times 10^{-3}$ kg CFC₁₁ eq/m² olarak hesaplanmış ve çalışmadaki en düşük değeri temsil etmiştir.

Genel olarak bakıldığında, ozon tabakasının incelmesi etkisinin yapıların malzeme üretimi (A1-A3) aşamasında daha yoğun olarak olduğu görülmektedir. Kullanım süreci (B6) kaynaklı katkılar tüm yapılarda oldukça düşük kalmaktadır. Etki potansiyelinin en yüksek olduğu yapı H2 Blok olurken, T2 Blok bu kategoride en çevreci profil sergilemektedir. Bu bulgular, ozon tabakasına zarar veren kimyasalların malzeme tercihleriyle doğrudan ilişkili olduğunu, dolayısıyla çevresel açıdan daha düşük ODP değerine sahip malzeme seçimlerinin sürdürülebilirlik açısından kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Her üç binada da EPS (genişletilmiş polistiren) yalıtımının, Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli üzerinde açık ara en baskın etken olduğu **Şekil 4.6'**da gözlemlenmektedir. Bu durum, EPS üretiminde kullanılan şişirme ajanları veya ilgili proseslerin ozon tabakasına zarar veren maddelerle ilişkili olmasından kaynaklanabilmektedir. Diğer kaynakların ODP'ye katkısı, yalıtım malzemelerine kıyasla oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır.



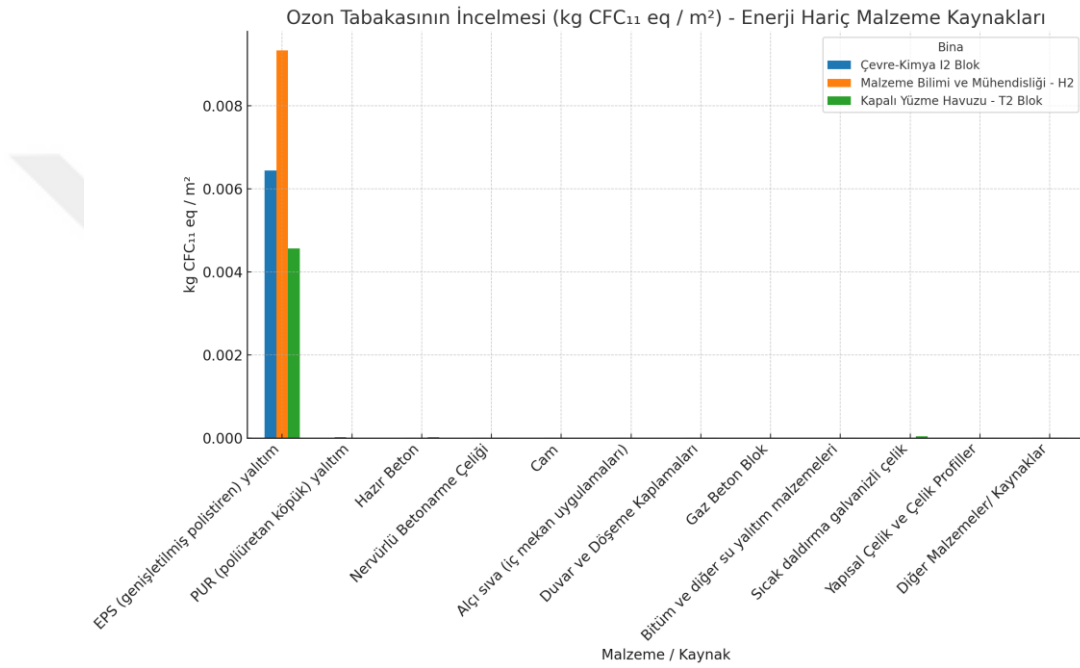
Şekil 4.6: Ozon Tabakasının İncelmesini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg CFC₁₁ eq).

Çevre-Kimya I2 Blok Binası (16.476 m²) için EPS yalıtım, 105,99 kg CFC₁₁ eşdeğeri ile ODP kategorisinde en büyük etkiyi yaratmaktadır. Bu değer, alan başına yaklaşık 0,0064 kg CFC₁₁ eq/m²'ye tekabül etmektedir (**Şekil 4.7**). Diğer kaynaklar, örneğin elektrik (1,58 kg CFC₁₁ eşdeğeri) ve doğalgaz (0,58 kg CFC₁₁ eşdeğeri), toplam ODP içindeki payları %2'nin altında kalarak ihmal edilebilir düzeydedir (**Şekil 4.5**). PUR (poliüretan köpük) yalıtımının da 0,22 kg CFC₁₁ eşdeğeri ile az da olsa bir katkısı bulunmaktadır.

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası (14.095 m²), 131,49 kg CFC₁₁ eşdeğeri ile EPS yalıtımı konusunda Çevre-Kimya I2 Blok Binası'ndan daha yüksek bir etkiye sahiptir. Bu, alan başına yaklaşık 0,0093 kg CFC₁₁ eq/m² anlamına gelmektedir ki bu, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın alan başına değerinden yaklaşık %45 daha yüksektir. Bu durum, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nda daha fazla EPS yalıtımı kullanılmış olduğunu göstermektedir. Bu binada da elektrik (0,58 kg CFC₁₁ eşdeğeri) ve doğalgaz (0,40 kg CFC₁₁ eşdeğeri) gibi diğer kaynakların ODP'ye katkısı oldukça düşüktür.

Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası (4.372 m²), diğer iki binaya kıyasla EPS yalıtımından kaynaklanan ODP değeri açısından belirgin şekilde daha düşüktür (19,93

kg CFC₁₁ eşdeğeri). Bu değer, alan başına yaklaşık 0,0046 kg CFC₁₁ eq/m² olarak hesaplanmıştır. Bu miktar, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın alan başına değerinin yaklaşık %71'i, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın alan başına değerinin ise yaklaşık %49'u kadardır. Ayrıca, T2 Bloкта doğalgaz (0,82 kg CFC₁₁ eşdeğeri) ve elektrik (0,35 kg CFC₁₁ eşdeğeri) gibi enerji kaynaklarının ODP katkıları diğer binalardan nispeten daha yüksek görünse de, yine de EPS yalıtımının çok gerisindedirler.



Şekil 4.7: Ozon Tabakasının İncelmesini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg CFC₁₁ eq /m²).

EPS yalıtımının baskınlığı göz önüne alındığında, diğer kaynakların ODP'ye katkısı genel olarak oldukça düşüktür ve bu kategorideki toplam etkiye minimal düzeyde katkı sağlarlar. GWP kategorisinde en büyük etken olmalarına rağmen, ODP kategorisinde elektrik ve doğalgazın katkıları her üç bina için de metrekare başına sıfıra yakın değerlerdedir. Bu, modern enerji üretim süreçlerinin CFC'leri veya benzeri ozon inceltici maddeleri doğrudan salmadığını göstermektedir.

Hazır beton, nervürlü betonarme çeliği, cam, alçı sıva, duvar ve döşeme kaplamaları gibi temel yapı malzemelerinin ODP'ye katkıları da tüm binalar için son derece düşüktür (genellikle 0,01 ila 0,16 kg CFC₁₁ eşdeğeri arasında değişmektedir). Bu, bu

malzemelerin üretim süreçlerinin ozon inceltici maddelerle doğrudan bir ilişkisi olmadığını veya modern üretim teknikleriyle bu risklerin minimize edildiğini teyit etmektedir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda listelenen sıcak daldırma galvanizli/çinko kaplı çelik (0,16 kg CFC₁₁ eşdeğeri) ve yapısal çelik ve çelik profiller (0,01 kg CFC₁₁ eşdeğeri) gibi özelleşmiş malzemelerin de ODP katkısı çok düşüktür.

4.4 Asitleşme

Asitleşme ya da asitleşme potansiyeli, maddelerin çevresel sistemlerdeki asitlik seviyesini artırma kabiliyetini tanımlar. Özellikle karbondioksit (CO₂) gibi gazların suda çözünmesiyle asitlik oranı yükselir, bu da suların asitlenmesi gibi küresel çapta önemli etkilere yol açar. Genellikle hava kirleticilerin asidik bileşiklere dönüşmesi sonucu meydana gelen toprak ve su asitlenmesi, yağmur suyu ve sisin pH değerlerinin düşmesine neden olur. CML tabanlı yöntem kullanılarak, asitleşme potansiyeli çıktıları kg SO₂ eşdeğeri (kg SO₂ eq) birimiyle ifade edilir [Web 17, 2025].

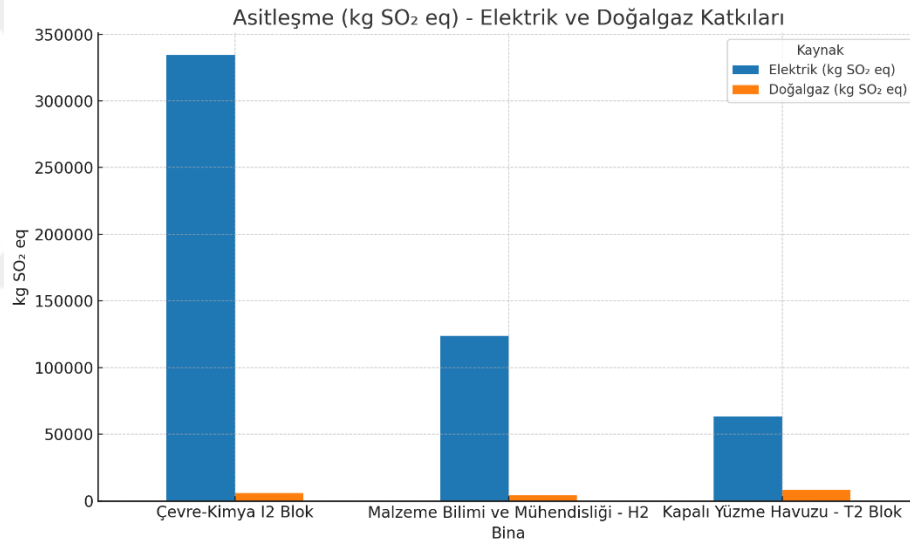
I2 Blok (Çevre-Kimya) için yapılan analizlerde A1-A3 aşamasında, yani yapı malzemeleri üretimi sürecinde $2,79 \times 10^4$ kg SO₂ eq düzeyinde asitleşmeye neden olan gaz emisyonu gerçekleşmiştir. B6 aşamasında, yani kullanım sürecindeki enerji tüketimi ise $3,40 \times 10^5$ kg SO₂ eq'lik bir etkiye sahiptir. Toplamda yaklaşık $3,68 \times 10^5$ kg SO₂ eq'lik emisyon ile bu yapı, çalışmadaki en yüksek asitleşme potansiyeline sahip binadır. Emisyonların %92'si enerji tüketiminden, %8'i malzeme üretiminden kaynaklanmaktadır. 1 m² birim alana göre normalize edilmiş değer 22,3 kg SO₂ eq/m² olup, bu da çalışmadaki en yüksek birim alan etkisidir.

H2 Blok (Malzeme Bilimi ve Mühendisliği) yapısında malzeme üretimi kaynaklı emisyon $2,49 \times 10^4$ kg SO₂ eq, kullanım aşaması kaynaklı emisyon ise $1,28 \times 10^5$ kg SO₂ eq olarak hesaplanmıştır. Bu yapı için toplam emisyon miktarı $1,53 \times 10^5$ kg SO₂ eq düzeyindedir. H2 Blok'ta da asitleşmeye neden olan emisyonların büyük bölümü (%84) enerji kullanımından kaynaklanmaktadır. 1 m² başına düşen değer 10,8 kg SO₂ eq/m² olup, I2 Blok'a kıyasla yaklaşık %52 daha düşük bir değere sahiptir. Bu durum, H2 Blok'un daha düşük enerji tüketimiyle birlikte çevreye daha az asidik yük getirdiğini göstermektedir.

T2 Blok (Kapalı Yüzme Havuzu) için A1-A3 kaynaklı emisyon değeri $1,02 \times 10^4$ kg SO₂ eq, B6 aşamasındaki enerji kaynaklı emisyon değeri ise $7,14 \times 10^4$ kg SO₂ eq olarak

belirlenmiştir. Toplamda $8,16 \times 10^4$ kg SO₂ eq düzeyindeki asitleşme potansiyeli, çalışmadaki en düşük toplam değeri temsil etmektedir. Ancak, 1 m² başına düşen emisyon miktarı 18,7 kg SO₂ eq/m² ile H2 Blok'tan yaklaşık %73, I2 Blok'tan ise yaklaşık %16 daha düşük olsa da, toplam değere kıyasla birim alandaki etkisinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu fark, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok binasının kullanım fonksiyonunun enerji yoğunluğuna rağmen daha küçük toplam alana yayılmasından kaynaklanmaktadır.

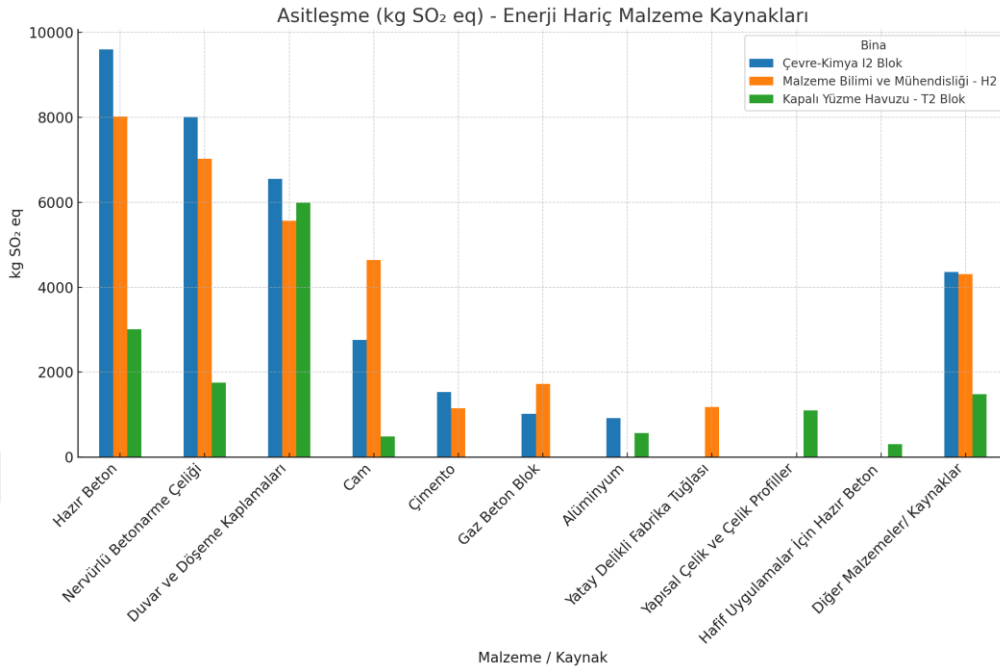
Her üç kampüs binasının Asitleşme Potansiyeli incelendiğinde, elektrik tüketiminin bu kategorideki en baskın kaynak olduğu **Şekil 4.8**'de açıkça görülmektedir. Elektrik üretimi sırasında özellikle termik santrallerde fosil yakıtların yakılması, önemli miktarda SO₂ emisyonuna neden olarak bu etkinin başlıca sürücüsüdür.



Şekil 4.8: Asitleşmeye elektrik ve doğalgaz katkıları (kg SO₂ eq).

Çevre-Kimya I2 Blok Binası (16.476 m²), Asitleşme Potansiyeli'ne en büyük katkıyı elektrik tüketimi ile sağlamaktadır. Elektrikten kaynaklanan asitleşme etkisi 334.473,66 kg SO₂ eşdeğeri olup, bu, binanın toplam asitleşme potansiyelinin yaklaşık %92'sini oluşturmaktadır. Alan başına düşen elektrik kaynaklı asitleşme potansiyeli yaklaşık 20,30 kg SO₂ eq/m²'dir. Diğer kaynaklar arasında hazır beton (9.591,37 kg SO₂ eşdeğeri, %2.6), nervürlü betonarme çeliği (8.007,49 kg SO₂ eşdeğeri, %2.2) ve duvar ve döşeme kaplamaları (6.543,97 kg SO₂ eşdeğeri, %1.8) yer almaktadır (**Şekil**

4.9). Doğalgaz tüketimi ise 5.764,43 kg SO₂ eşdeğeri ile toplamın yaklaşık %1.6'sını oluşturur.



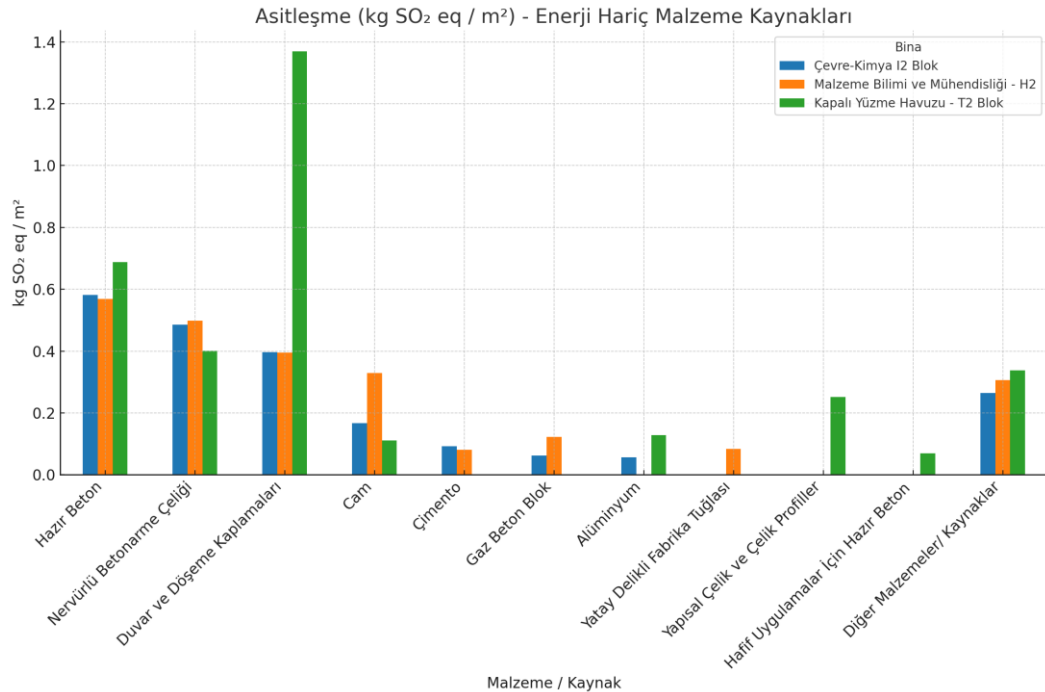
Şekil 4.9: Asitleşmeyi en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg SO₂ eq).

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası (14.095 m²) da Çevre-Kimya I2 Blok Binası'na benzer bir profile sahiptir. Bu binanın Asitleşme Potansiyeli'nde elektrik tüketimi 123.745,08 kg SO₂ eşdeğeri ile en büyük paya sahiptir ve toplam asitleşme etkisinin yaklaşık %83'ünü temsil etmektedir. Alan başına düşen elektrik kaynaklı asitleşme potansiyeli yaklaşık 8,78 kg SO₂ eq/m²'dir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın elektrik kaynaklı asitleşme etkisi, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın alan başına düşen değerinin yaklaşık %43'ü kadardır (**Şekil 4.8**). Malzeme bazında hazır beton (8.020,98 kg SO₂ eşdeğeri, %5.4) ve nervürlü betonarme çeliği (7.025,96 kg SO₂ eşdeğeri, %4.7) bu kategoride kayda değer etkiler yaratırken, duvar ve döşeme kaplamaları (5.563,62 kg SO₂ eşdeğeri, %3.7) ve cam (4.638,00 kg SO₂ eşdeğeri, %3.1) da sıralamada üstlerde yer almaktadır. Doğalgaz tüketimi ise 3.954,74 kg SO₂ eşdeğeri ile toplamın yaklaşık %2.6'sını oluşturur.

Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası (4.372 m²) için de Asitleşme Potansiyeli üzerinde elektrik tüketimi 63.243,44 kg SO₂ eşdeğeri ile en büyük etkiye sahiptir ve toplamın yaklaşık %77'sini oluşturur. Alan başına düşen elektrik kaynaklı asitleşme

potansiyeli yaklaşık 14,46 kg SO₂ eq/m²'dir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın alan başına elektrik kaynaklı asitleşme etkisi, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın yaklaşık %71'i ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın yaklaşık %165'i kadardır. Bu binada doğalgaz tüketimi 8.182,55 kg SO₂ eşdeğeri ile toplamın yaklaşık %10'unu temsil ederek diğer binalara kıyasla daha yüksek bir orana sahiptir. Duvar ve döşeme kaplamaları (5.983,82 kg SO₂ eşdeğeri, %7.3) ve hazır beton (3.007,24 kg SO₂ eşdeğeri, %3.7) da malzeme bazında önemli etkiler yaratmaktadır.

Alan başına düşen asitleşme potansiyeli karşılaştırıldığında, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın elektrik tüketiminden kaynaklanan asitleşme etkisi (20,30 kg SO₂ eq/m²), üç bina arasındaki en yüksek değeri temsil etmektedir. Bu, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın yüksek elektrik yoğunluğunun, Küresel Isınma Potansiyeli'nde olduğu gibi Asitleşme Potansiyeli üzerinde de belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası (14,46 kg SO₂ eq/m² elektrik kaynaklı) ikinci sırada yer alırken, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası (8,78 kg SO₂ eq/m² elektrik kaynaklı) en düşük alan başına elektrik kaynaklı asitleşme etkisine sahiptir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10: Asitleşmeyi en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg SO₂ eq /m²).

Enerji tüketiminin yanı sıra, hazır beton ve nervürlü betonarme çeliği gibi temel yapı malzemeleri de her üç binada da Asitleşme Potansiyeli üzerinde kayda değer bir etkiye sahiptir. Çevre-Kimya I2 Blok ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok binaları, alan başına hazır beton ve nervürlü betonarme çeliği etkileri açısından birbirine yakın değerlere sahiptir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda ise alan başına duvar ve döşeme kaplamalarının asitleşme etkisi (yaklaşık 1.37 kg SO₂ eq/m²), diğer binalara kıyasla (I2 Blok: 0.40 kg SO₂ eq/m², h2 Blok: 0.39 kg SO₂ eq/m²) daha yüksek bir orana sahiptir; bu da yine havuz gibi ıslak hacimlerde kullanılan özel malzemelerin çevresel etkisini vurgulamaktadır. Ayrıca, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda yapısal çelik ve çelik profillerin (1.098,46 kg SO₂ eşdeğeri) Asitleşme Potansiyeli üzerindeki etkisi, binanın karma yapım sisteminin bir sonucu olarak diğer binalarda bu ölçüde görülmeyen bir faktördür.

4.5 Ötrofikasyon

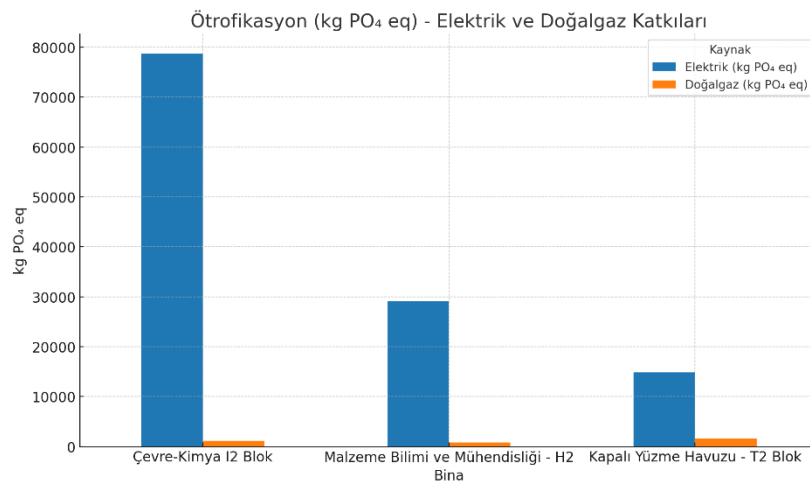
Ötrofikasyon potansiyeli, toprağa veya suya mineral besin maddelerinin eklenmesinin çevresel sonuçlarını açıklar. Bu durum, belirli türlerin bir ekosistemde baskın hale gelmesine, diğer türlerin hayatta kalmasını tehlikeye atmasına ve hatta popülasyonların yok olmasına neden olabilir. Genellikle azot veya fosfor içeren bileşiklerin emisyonundan kaynaklanan ötrofikasyon, tatlı su ekosistemlerinin aşırı besin elementleriyle zenginleştiğinin bir göstergesidir. Belirli bir alandaki besinlerin artışı olarak da tanımlanabilen bu durum, aşırı besin kaynağının hassas ekosistemlerde istenmeyen bitki büyümesini teşvik etmesiyle sonuçlanır. CML tabanlı yöntemle göre ötrofikasyon potansiyeli çıktıları kg PO₄ eşdeğeri (kg PO₄ eq) birimiyle ifade edilir [Web 17, 2025].

I2 Blok (Çevre-Kimya) için A1-A3 aşamasında gerçekleşen ötrofikasyon potansiyeli $1,27 \times 10^4$ kg PO₄ eq, kullanım sürecindeki enerji tüketimi kaynaklı katkı ise $7,99 \times 10^4$ kg PO₄ eq olarak hesaplanmıştır. Toplamda $9,26 \times 10^4$ kg PO₄ eq düzeyinde ötrofikasyona neden olan emisyon söz konusudur. Bu miktarın yaklaşık %86'sı enerji kullanımından, %14'ü ise malzeme üretiminden kaynaklanmaktadır. I2 Blok'un 1 m² başına düşen ötrofikasyon potansiyeli ise 5,62 kg PO₄ eq/m² ile çalışmadaki en yüksek değerdir.

H2 Blok (Malzeme Bilimi ve Mühendisliği) için bu kategoriye ait A1-A3 aşamasındaki değer $1,52 \times 10^4$ kg PO₄ eq, B6 aşamasındaki değer ise $2,99 \times 10^4$ kg PO₄ eq olarak belirlenmiştir. Toplam ötrofikasyon değeri $4,51 \times 10^4$ kg PO₄ eq olup, I2 Blok'a göre yaklaşık %51 daha düşüktür. H2 Blok'ta ötrofikasyon etkisinin %66'sı enerji tüketiminden, %34'ü malzeme üretiminden kaynaklanmaktadır. Bu yapı için 1 m² başına düşen ötrofikasyon potansiyeli 3,20 kg PO₄ eq/m² olup, çalışmadaki en düşük orana sahiptir.

T2 Blok (Kapalı Yüzme Havuzu)'nda malzeme üretiminden kaynaklanan ötrofikasyon değeri $4,58 \times 10^3$ kg PO₄ eq, enerji kullanımından kaynaklanan değer ise $1,65 \times 10^4$ kg PO₄ eq olarak hesaplanmıştır. Toplamda $2,11 \times 10^4$ kg PO₄ eq düzeyindeki emisyon ile T2 Blok, çalışmadaki en düşük toplam değere sahip binadır. Ancak 1 m² başına düşen ötrofikasyon potansiyeli 4,81 kg PO₄ eq/m² ile H2 Blok'a göre yaklaşık %50 daha yüksek, I2 Blok'a göre ise yaklaşık %14 daha düşük seviyededir. Bu yapıdaki etkilerin %78'i enerji tüketiminden, %22'si malzeme üretiminden kaynaklanmaktadır (**Şekil 4.11**).

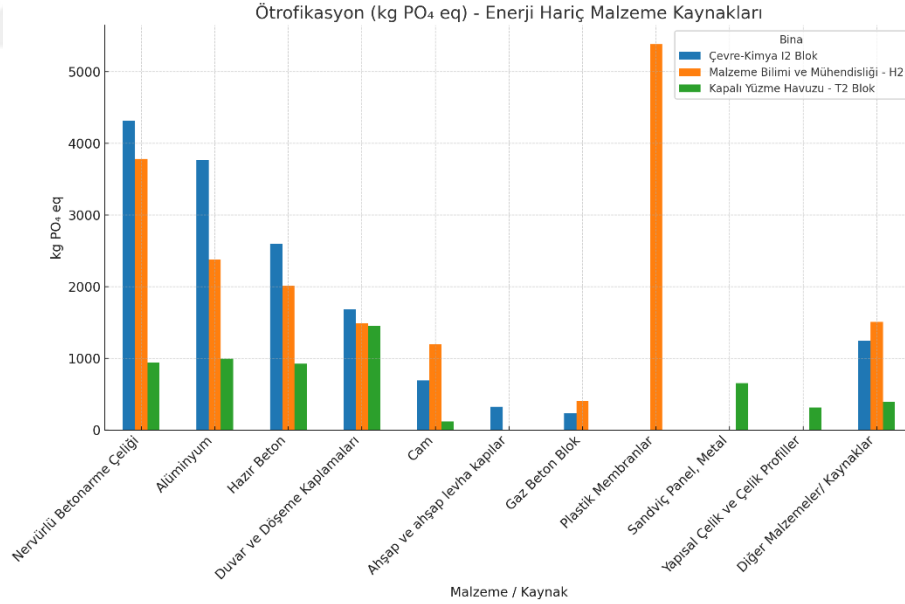
Genel olarak değerlendirildiğinde, her üç binada da ötrofikasyon potansiyelinin baskın kaynağının enerji tüketimi olduğu görülmektedir. Enerji kaynaklı katkı oranı I2 Blok'ta %86, T2 Blok'ta %78, H2 Blok'ta ise %66 seviyesindedir. Toplam ötrofikasyon açısından en yüksek değere I2 Blok sahipken, en düşük değere T2 Blok ulaşmıştır. Ancak birim alana göre değerlendirildiğinde, H2 Blok en düşük etkiye sahip bina olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 4.11: Ötrofikasyona elektrik ve doğalgaz katkıları (kg PO₄ eq).

Üç kampüs binasının Ötrofikasyon Potansiyeli incelendiğinde, Asitleşme ve Küresel Isınma Potansiyeli kategorilerinde olduğu gibi elektrik tüketiminin bu kategoride de en baskın kaynak olduğu görülmektedir. Elektrik üretim süreçlerinde ortaya çıkan azot ve fosfor bileşikleri bu etkiye katkıda bulunur.

Çevre-Kimya I2 Blok Binası (16.476 m²), Ötrofikasyon Potansiyeli'ne en büyük katkıyı elektrik tüketimi ile sağlamaktadır. Elektrikten kaynaklanan ötrofikasyon etkisi 78.744,91 kg PO₄ eşdeğeri olup, bu, binanın toplam ötrofikasyon potansiyelinin yaklaşık %86'sını oluşturmaktadır. Alan başına düşen elektrik kaynaklı ötrofikasyon potansiyeli yaklaşık 4,78 kg PO₄ eq/m²'dir. Diğer önemli kaynaklar arasında nervürlü betonarme çeliği (4.312,23 kg PO₄ eşdeğeri, %4.7) ve alüminyum (3.764,12 kg PO₄ eşdeğeri, %4.1) yer almaktadır. Hazır beton (2.600,96 kg PO₄ eşdeğeri, %2.8) ve duvar ve döşeme kaplamaları (1.684,04 kg PO₄ eşdeğeri, %1.8) da listede üst sıralarda bulunmaktadır (**Şekil 4.12**). Doğalgaz tüketimi ise 1.152,89 kg PO₄ eşdeğeri ile toplamın %1.2'sini oluşturur.



Şekil 4.12: Ötrofikasyonu en çok artıran kaynaklar/malzemesler (kg PO₄ eq).

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası (14.095 m²), Çevre-Kimya I2 Blok Binası'na benzer bir profile sahiptir ancak daha düşük mutlak değerlere sahiptir. Bu binanın Ötrofikasyon Potansiyeli'nde elektrik tüketimi 29.133,22 kg PO₄ eşdeğeri ile

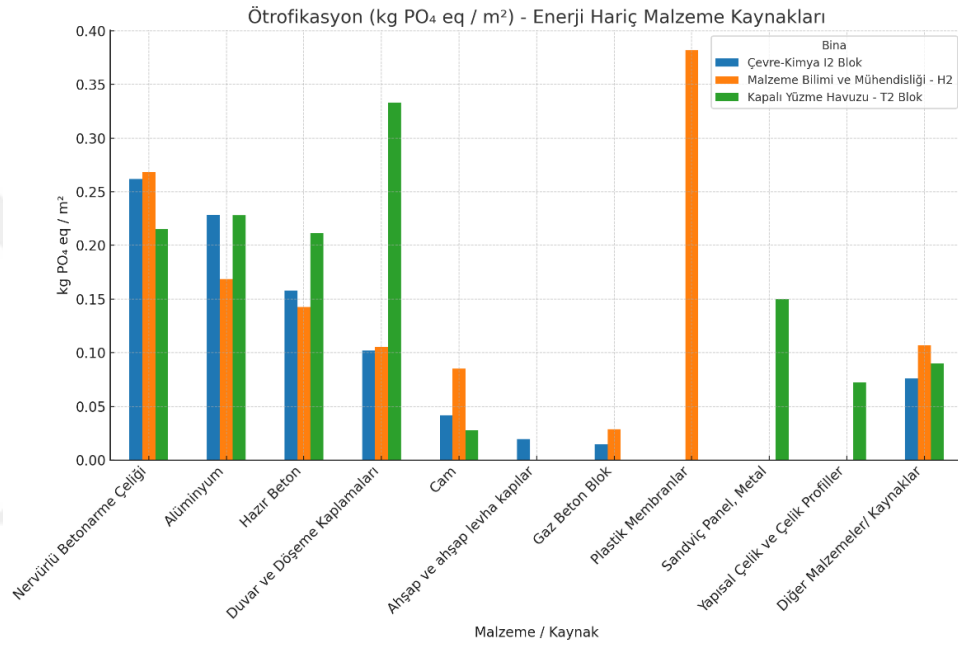
en büyük paya sahiptir ve toplam ötrofikasyon etkisinin yaklaşık %63'ünü temsil etmektedir. Alan başına düşen elektrik kaynaklı ötrofikasyon potansiyeli yaklaşık 2,07 kg PO₄ eq/m²'dir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın elektrik kaynaklı ötrofikasyon etkisi, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın alan başına düşen değerinin yaklaşık %43'ü kadardır. Elektrikten sonra öne çıkan malzeme ise plastik membranlar (5.379,07 kg PO₄ eşdeğeri, %11.6) olup, bu diğer binalardaki ötrofikasyonu en çok artıran malzemeler arasında yer almayan bir malzemedir. Nervürlü betonarme çeliği (3.783,36 kg PO₄ eşdeğeri, %8.2) ve alüminyum (2.378,68 kg PO₄ eşdeğeri, %5.1) da önemli katkılar sağlamaktadır.

Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası (4.372 m²) için Ötrofikasyon Potansiyeli üzerinde yine elektrik tüketimi 14.828,71 kg PO₄ eşdeğeri ile en büyük etkiye sahiptir ve toplamın yaklaşık %70'ini oluşturur. Alan başına düşen elektrik kaynaklı ötrofikasyon potansiyeli yaklaşık 3,39 kg PO₄ eq/m²'dir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın alan başına elektrik kaynaklı ötrofikasyon etkisi, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın yaklaşık %71'i ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın yaklaşık %164'ü kadardır. Doğalgaz tüketimi 1.636,51 kg PO₄ eşdeğeri ile toplamın yaklaşık %7.7'sini temsil ederek, diğer binalara kıyasla daha yüksek bir orana sahiptir. Duvar ve döşeme kaplamaları (1.457,02 kg PO₄ eşdeğeri, %6.8) ve alüminyum (997,34 kg PO₄ eşdeğeri, %4.7) da malzeme bazında önemli etkiler yaratmaktadır.

Alan başına düşen ötrofikasyon potansiyeli karşılaştırıldığında, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın elektrik tüketiminden kaynaklanan ötrofikasyon etkisi (4,78 kg PO₄ eq/m²) üç bina arasındaki en yüksek değeri temsil etmektedir. Bu, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın genel enerji yoğunluğunun bu çevresel etki kategorisi üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası (3,39 kg PO₄ eq/m² elektrik kaynaklı) ikinci sırada yer alırken, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası (2,07 kg PO₄ eq/m² elektrik kaynaklı) en düşük alan başına elektrik kaynaklı ötrofikasyon etkisine sahiptir.

Enerji tüketiminin yanı sıra, nervürlü betonarme çeliği, alüminyum ve hazır beton gibi temel yapı malzemeleri de her üç binada da Ötrofikasyon Potansiyeli üzerinde kayda değer bir etkiye sahiptir. Çevre-Kimya I2 Blok Binası ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası, bu malzemelerden kaynaklanan ötrofikasyon etkileri açısından benzerlikler gösterir.

Duvar ve döşeme kaplamaları kategorisinde ise Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın mutlak değeri diğerlerine yakın olmasına rağmen, alan başına düşen değeri (yaklaşık 0,33 kg PO₄ eq/m²) Çevre-Kimya I2 Blok Binası (yaklaşık 0,10 kg PO₄ eq/m²) ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'ndan (yaklaşık 0,11 kg PO₄ eq/m²) yaklaşık 3 kat daha yüksektir (**Şekil 4.13**). Bu durum, havuz gibi ıslak hacimlerde kullanılan özel ve belki de daha fazla çevresel etki yaratan kaplama malzemelerinin kullanımına bağlıdır.



Şekil 4.13: Ötrofikasyonu en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg PO₄ eq /m²).

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nda plastik membranların (yaklaşık 0,38 kg PO₄ eq/m²) öne çıkması, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda sandviç panel, metal (655,59 kg PO₄ eşdeğeri) ve yapısal çelik ve çelik profiller (316,95 kg PO₄ eşdeğeri) gibi malzemeler de diğer binalarda ilk sıralarda yer almayan özgün katkılar sunmaktadır.

4.6 Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyeli (POCP)

Alt atmosferde oluşan fotokimyasal ozon, atmosferdeki maddelerin neden olduğu ve yaz dumanı olarak da bilinen fotokimyasal sisin oluşumunu açıklar. Bu etki,

fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli olarak adlandırılır. CML tabanlı yöntemle göre, bu potansiyelin çıktıları kg Etilen (C_2H_4) eşdeğeri birimiyle ifade edilir [Web 17, 2025].

Fotokimyasal oksidan oluşumu, atmosferde azot oksitler (NO_x) ve uçucu organik bileşiklerin (VOC) güneş ışığıyla reaksiyona girmesi sonucu troposferik ozon (O_3) gibi insan sağlığına ve çevreye zararlı maddelerin oluşmasına neden olur. Yapı sektöründe bu etki özellikle malzeme üretimi ve enerji kullanımı sırasında ortaya çıkan VOC ve NO_x emisyonlarından kaynaklanır.

I2 Blok (Çevre-Kimya) için A1-A3 aşamasında hesaplanan fotokimyasal oksidan oluşum değeri $1,86 \times 10^6$ kg C_2H_4 eq, B6 aşamasındaki katkı ise $1,24 \times 10^4$ kg C_2H_4 eq olarak belirlenmiştir. Toplamda $1,87 \times 10^6$ kg C_2H_4 eq düzeyinde emisyon söz konusudur. Bu miktarın %99,3'ü yapı malzemelerinin üretim sürecinden, yalnızca %0,7'si enerji kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu yapı için 1 m² başına düşen POCP değeri 114 kg C_2H_4 eq/m² ile oldukça yüksek bir değeri temsil etmektedir.

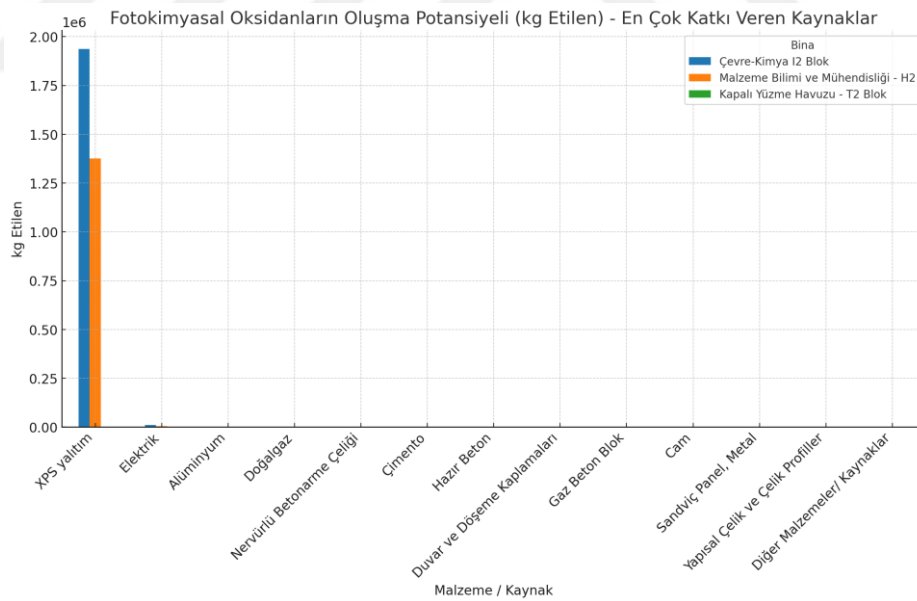
H2 Blok (Malzeme Bilimi ve Mühendisliği) yapısında A1-A3 aşamasındaki POCP değeri $1,33 \times 10^6$ kg C_2H_4 eq, enerji kullanımına bağlı B6 aşamasındaki katkı ise $4,84 \times 10^3$ kg C_2H_4 eq seviyesindedir. Toplam POCP değeri $1,34 \times 10^6$ kg C_2H_4 eq olup, I2 Blok'a kıyasla yaklaşık %28 daha düşük bir çevresel etkiye sahiptir. 1 m² başına düşen POCP değeri ise 94,4 kg C_2H_4 eq/m² olarak hesaplanmıştır.

T2 Blok (Kapalı Yüzme Havuzu) için malzeme üretimi kaynaklı POCP değeri $1,73 \times 10^6$ kg C_2H_4 eq, enerji kullanımına bağlı katkı ise $3,33 \times 10^3$ kg C_2H_4 eq olarak belirlenmiştir. Toplamda $1,74 \times 10^6$ kg C_2H_4 eq düzeyinde emisyon ortaya çıkmıştır. Her ne kadar toplam değer I2 ve H2 bloklarıyla benzer düzeyde olsa da, T2 Blok'un kullanım alanı daha küçük olduğu için 1 m² başına düşen POCP değeri çok daha yüksektir: 397 kg C_2H_4 eq/m². Bu değer, H2 Blok'un yaklaşık 4,2 katı, I2 Blok'un ise 3,5 katı kadar fazladır.

Bu sonuçlar doğrultusunda, her üç binada da POCP etkisinin neredeyse tamamına yakınının yapı malzemelerinin üretiminden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Enerji kullanımının bu etki üzerindeki katkısı ihmal edilebilir düzeydedir. Ancak birim alana göre değerlendirildiğinde, Kapalı Yüzme Havuzu (T2 Blok) açık ara en yüksek değere sahip olup, özellikle fotokimyasal oksidan oluşumu açısından çevresel açıdan en baskın ve riskli yapı konumundadır. Bu durum, havuz yapılarında kullanılan

malzemelerin POCP etkisi açısından dikkatle ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Üç kampüs binasının Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyeli incelendiğinde, Çevre-Kimya I2 Blok ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok binalarında XPS (ekstrüde polistiren) yalıtımının bu kategoride açık ara en baskın etken olduğu **Şekil 4.14**'de görülürken, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda durum farklılaşmaktadır. Çevre-Kimya I2 Blok Binası (16.476 m²), POCP'ye en büyük katkıyı XPS (ekstrüde polistiren) yalıtım ile sağlamaktadır. XPS'ten kaynaklanan POCP etkisi 1.935.858,54 kg Etilen eşdeğeri olup, bu, binanın toplam POCP'sinin yaklaşık %98.6'sını oluşturmaktadır. Alan başına düşen XPS kaynaklı POCP yaklaşık 117,50 kg Etilen eq/m²'dir. Elektrik tüketimi (11.592,92 kg Etilen eşdeğeri) ve alüminyum (1.215,95 kg Etilen eşdeğeri) gibi diğer kaynakların katkısı, XPS yalıtımının yanında ihmal edilebilir düzeydedir. Bu durum, XPS üretim süreçlerinin veya içinde barındırdığı gazların fotokimyasal oksidan oluşumuna büyük ölçüde katkıda bulunduğunu göstermektedir.



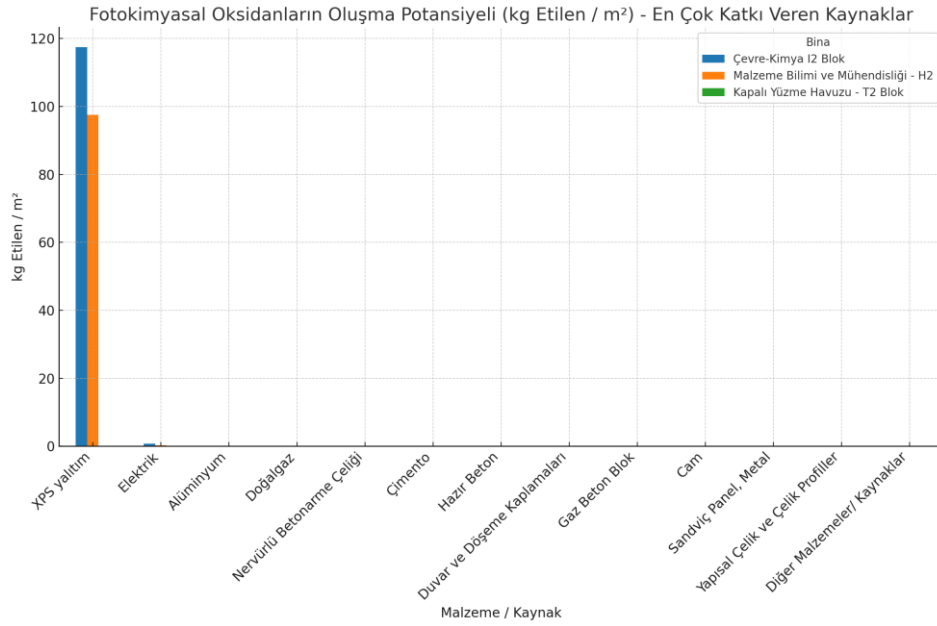
Şekil 4.14: Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg Etilen).

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası (14.095 m²) da Çevre-Kimya I2 Blok Binası'na benzer şekilde XPS (ekstrüde polistiren) yalıtım ile öne çıkmaktadır.

XPS'ten kaynaklanan POCP etkisi 1.375.698,33 kg Etilen eşdeğeri olup, bu, binanın toplam POCP'sinin yaklaşık %99.2'sini temsil etmektedir. Alan başına düşen XPS kaynaklı POCP yaklaşık 97,60 kg Etilen eq/m²'dir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın alan başına XPS kaynaklı POCP değeri, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın alan başına değerinin yaklaşık %83'ü kadardır. Elektrik (4.289,03 kg Etilen eşdeğeri) ve alüminyum (782,97 kg Etilen eşdeğeri) gibi diğer kaynakların etkisi yine oldukça düşüktür.

Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası (4.372 m²) ise bu kategoride diğer iki binadan belirgin şekilde farklı bir profile sahiptir. T2 Blok'ta XPS yalıtımı POCP'ye en çok katkı sağlayan malzemeler arasında yer almamaktadır; bu durum, binanın yapısında XPS yalıtımının az miktarda kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu binada POCP'ye en büyük katkıyı alüminyum (335,56 kg Etilen eşdeğeri) ve duvar ve döşeme kaplamaları (306,41 kg Etilen eşdeğeri) sağlamaktadır. Alan başına düşen alüminyum kaynaklı POCP yaklaşık 0,077 kg Etilen eq/m², duvar ve döşeme kaplamaları kaynaklı POCP ise yaklaşık 0,070 kg Etilen eq/m²'dir. Sandviç panel, metal (152,40 kg Etilen eşdeğeri) ve yapısal çelik ve çelik profiller (120,90 kg Etilen eşdeğeri) gibi malzemeler de bu binada kayda değer, ancak çok daha düşük etkiler yaratmaktadır. Bu binadaki mutlak POCP değerlerinin diğer iki binaya göre dramatik şekilde düşük olması, XPS yalıtımının ana etken olmadığı bir senaryoda bu etkinin ne kadar azalabileceğini göstermektedir.

Alan başına düşen Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyeli karşılaştırıldığında, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın XPS yalıtımından kaynaklanan etkisi **Şekil 4.15**'te görüldüğü gibi, (117,50 kg Etilen eq/m²) en yüksek değeri göstermektedir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası da benzer şekilde yüksek bir değere (97,60 kg Etilen eq/m²) sahip olmakla birlikte, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'ndan yaklaşık %17 daha düşüktür.



Şekil 4.15: Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg Etilen/m²).

Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası ise XPS yalıtımının etkisi olmadığında, alan başına düşen toplam POCP değerleriyle (en büyük etken alüminyum: 0,077 kg Etilen eq/m²) diğer iki binanın XPS kaynaklı alan başına değerlerinin binlerce kat altında kalmaktadır. Örneğin, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın XPS kaynaklı alan başına POCP'si, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın en yüksek etkili kaynağı olan alüminyumun alan başına etkisinden yaklaşık 1526 kat daha fazladır. Bu karşılaştırma, XPS yalıtımının bu çevresel etki kategorisi üzerindeki baskın ve belirleyici rolünü net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Diğer kaynaklar, enerji tüketimi (elektrik ve doğalgaz) ve diğer yapı malzemeleri (beton, çelik, cam vb.), her üç binada da POCP üzerinde çok düşük veya ihmal edilebilir düzeyde etkiye sahiptir. Bu durum, bu kategorideki asıl sorumluluğun belirli kimyasal süreçlere veya yüksek VOC emisyonlarına sahip malzemelere ait olduğunu göstermektedir.

4.7 Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP-Elementler)

Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP - Mineraller ve Metaller), bir ürünün veya sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca fosil dışı doğal hammaddelerin (mineraller ve metaller) ne kadar tüketildiğini ölçen bir çevresel etki göstergesidir. CML tabanlı yöntemle göre, bu potansiyelin çıktıları kg Sb eşdeğeri birimiyle ifade edilir [Web 18, 2025].

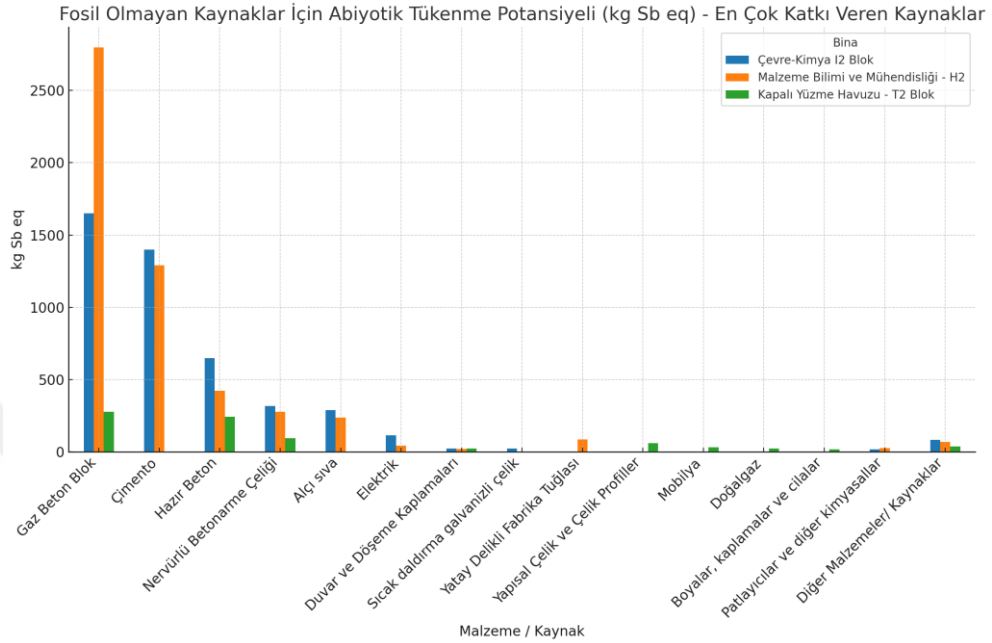
I2 Blok (Çevre-Kimya) için A1-A3 (yapı malzemeleri üretimi) aşamasındaki ADP değeri $3,15 \times 10^3$ kg Sb eq, enerji kullanımına bağlı B6 aşamasındaki katkı ise $1,28 \times 10^2$ kg Sb eq olarak belirlenmiştir. Toplamda yaklaşık $3,28 \times 10^3$ kg Sb eq düzeyinde abiyotik kaynak tüketimi gerçekleşmiştir. Bu miktarın %96'sından fazlası malzeme üretim sürecine ait olup, enerji kullanımının etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Yapının birim alana düşen değeri ise 0,199 kg Sb eq/m² şeklindedir.

H2 Blok (Malzeme Bilimi ve Mühendisliği) yapısında A1-A3 kaynaklı ADP değeri $3,96 \times 10^3$ kg Sb eq olup, enerji kullanımından kaynaklanan B6 katkısı $5,21 \times 10^1$ kg Sb eq düzeyindedir. Toplam ADP değeri $4,01 \times 10^3$ kg Sb eq seviyesindedir. Bu yapı, hem toplam hem de m² başına düşen değer açısından I2 Blok'a göre yaklaşık %22 daha yüksek bir kaynak tüketimine sahiptir. 1 m²'ye göre hesaplanan değer 0,284 kg Sb eq/m² olup, üç yapı arasında en yüksek seviyeye işaret etmektedir.

T2 Blok (Kapalı Yüzme Havuzu) için A1-A3 aşamasındaki ADP değeri yalnızca $3,71 \times 10^2$ kg Sb eq, B6 aşamasındaki katkı ise $3,61 \times 10^1$ kg Sb eq olarak tespit edilmiştir. Toplamda $4,07 \times 10^2$ kg Sb eq düzeyinde bir kaynak kullanımı söz konusudur. Bu yapı, hem toplam hem de m² başına düşen ADP değeri açısından en düşük etkiye sahiptir. 1 m² başına 0,0931 kg Sb eq değeri ile H2 Blok'a kıyasla %67, I2 Blok'a kıyasla ise %53 daha düşük bir kaynak tüketimi profili sergilemektedir.

Sonuç olarak, H2 Blok, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de görüldüğü gibi, hem toplam hem de alan başına düşen abiyotik kaynak tüketimi açısından en çevresel baskı oluşturan yapı olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, söz konusu binada kullanılan yapı malzemelerinin daha fazla nadir veya değerli element içermesiyle ilişkili olabilir. T2 Blok, toplam kaynak tüketimi açısından daha az çevresel etkiye sahiptir; bu da daha az yoğun malzeme kullanımı veya daha yaygın ve düşük etkili hammaddelerin tercih

edilmiş olmasından kaynaklanabilir. Enerji kullanımının bu kategoriye katkısı üç yapı için de oldukça düşük olup, toplam etkide %1–4 aralığında kalmaktadır. Özellikle gaz beton blok, çimento ve hazır beton gibi mineral bazlı malzemeler öne çıkmaktadır.

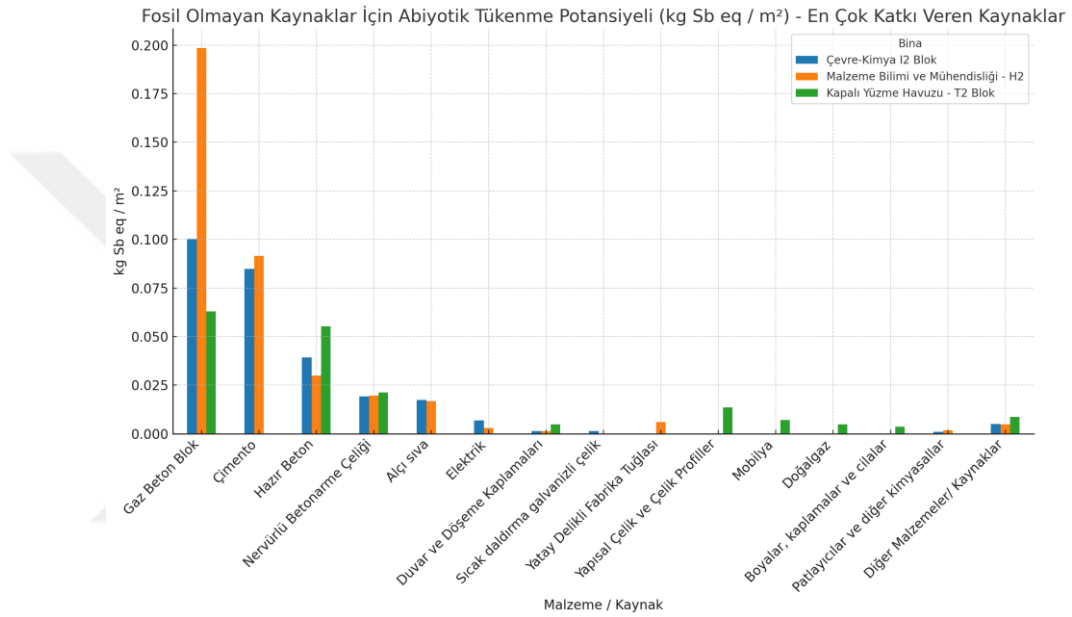


Şekil 4.16: Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg Sb eq).

Çevre-Kimya I2 Blok Binası (16.476 m²), ADP elementleri potansiyeline en büyük katkıyı gaz beton blok ile sağlamaktadır. Gaz beton bloktan kaynaklanan ADP etkisi 1.650,46 kg Sb eşdeğeri olup, bu, binanın listelenen toplam ADP'sinin yaklaşık %46'sını oluşturmaktadır. Alan başına düşen gaz beton blok kaynaklı ADP yaklaşık 0,100 kg Sb eq/m²'dir. Çimento (1.399,23 kg Sb eşdeğeri, %39) ve hazır beton (646,56 kg Sb eşdeğeri, %18) de önemli katkılar sunmaktadır. Nervürlü betonarme çeliği (314,94 kg Sb eşdeğeri, %8.8) ve alçı sıva (286,71 kg Sb eşdeğeri, %8.0) diğer önde gelen malzeme kaynaklarıdır. Elektrik (113,51 kg Sb eşdeğeri) ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarının bu kategorideki etkisi ise oldukça düşüktür.

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası (14.095 m²), Çevre-Kimya I2 Blok Binası'ndan daha yüksek mutlak bir değerle yine gaz beton blok ile ADP elementleri potansiyeline en büyük katkıyı sağlamaktadır. Gaz beton bloktan kaynaklanan ADP etkisi 2.799,24 kg Sb eşdeğeri olup, bu, binanın listelenen toplam ADP'sinin yaklaşık

%60'ını temsil etmektedir. Alan başına düşen gaz beton blok kaynaklı ADP yaklaşık 0,199 kg Sb eq/m²'dir (Şeki 4.17). Bu değer, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın alan başına düşen değerinden yaklaşık %99 daha yüksektir. Çimento (1.290,70 kg Sb eşdeğeri, %27.7) ve hazır beton (421,45 kg Sb eşdeğeri, %9.0) da önemli etkilere sahiptir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nda ayrıca yatay delikli fabrika tuğlası (86,16 kg Sb eşdeğeri) da listelenen ilk 10 kaynak arasında yer almaktadır. Elektriğin bu kategorideki katkısı 42,00 kg Sb eşdeğeri ile oldukça düşüktür.



Şekil 4.17: Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (kg Sb eq/m²).

Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası (4.372 m²) için bu kategorideki mutlak değerler diğer iki binadan belirgin şekilde daha düşüktür. En büyük katkıyı gaz beton blok (275,34 kg Sb eşdeğeri, yaklaşık %45), hazır beton (241,21 kg Sb eşdeğeri, yaklaşık %39) ve nervürlü betonarme çeliği (93,22 kg Sb eşdeğeri, yaklaşık %15) sağlamaktadır. Alan başına düşen gaz beton blok kaynaklı ADP yaklaşık 0,063 kg Sb eq/m², hazır beton kaynaklı ADP yaklaşık 0,055 kg Sb eq/m²'dir. Bu değerler, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın alan başına gaz beton ve hazır beton değerlerinden belirgin ölçüde düşüktür. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda ayrıca yapısal çelik ve çelik profiller (59,22 kg Sb eşdeğeri), mobilya (30,96 kg Sb eşdeğeri) ve hafif uygulamalar için hazır beton (22,75 kg Sb eşdeğeri) gibi diğer

binaların bu kategoride üst sıralarda yer almayan malzemeleri de bulunmaktadır. Elektrik bu binanın ilk 10 listesinde yer almazken, doğalgaz 20,87 kg Sb eşdeğeri ile düşük bir katkı sağlamaktadır.

Alan başına düşen Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli karşılaştırıldığında, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın gaz beton blok kaynaklı ADP etkisi (0,199 kg Sb eq/m²) en yüksek değeri göstermektedir. Çevre-Kimya I2 Blok Binası da benzer şekilde yüksek bir değere (0,100 kg Sb eq/m²) sahip olmakla birlikte, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'ndan yaklaşık %49 daha düşüktür. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın alan başına gaz beton blok kaynaklı ADP'si (0,063 kg Sb eq/m²) ise diğer iki binadan belirgin şekilde daha düşüktür.

Genel olarak, bu kategori için yapı malzemelerinin, özellikle mineral bazlı olanların (gaz beton blok, çimento, hazır beton), enerji kaynaklarına kıyasla çok daha baskın bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası, alan başına düşen ADP değeri açısından en yüksek etkiye sahipken, Çevre-Kimya I2 Blok Binası onu takip etmektedir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın bu kategorideki toplam etkisi ve alan başına düşen değeri, diğer binalara göre belirgin şekilde daha düşüktür. Bu durum, Havuz Binası'nın toplam alanının daha küçük olması ve belki de bu mineral yoğun malzemelerin nispeten daha az kullanılmasıyla açıklanabilir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda mobilya, boyalar, kaplamalar ve cilalar gibi özel kalemlerin ADP etkisine katkıda bulunması da binanın özgün fonksiyonel gereksinimlerini yansıtmaktadır.

4.8 Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP-Fosil yakıtlar)

Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP - Fosil Yakıtlar), bir ürünün veya sistemin yaşam döngüsü boyunca ne kadar kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıt tükettiğini gösteren bir çevresel etki ölçütüdür. CML tabanlı yöntemle göre, bu potansiyelin çıktıları kg MJ eşdeğeri birimiyle ifade edilir [Web 18, 2025].

Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP-fosil yakıtlar, MJ) kategorisinde yapılan değerlendirmeye göre, en yüksek toplam etki 7,54E+08 MJ ile Çevre-Kimya (I2) Blok'ta gözlemlenmiştir. Bu toplam değer %89,5'i B6

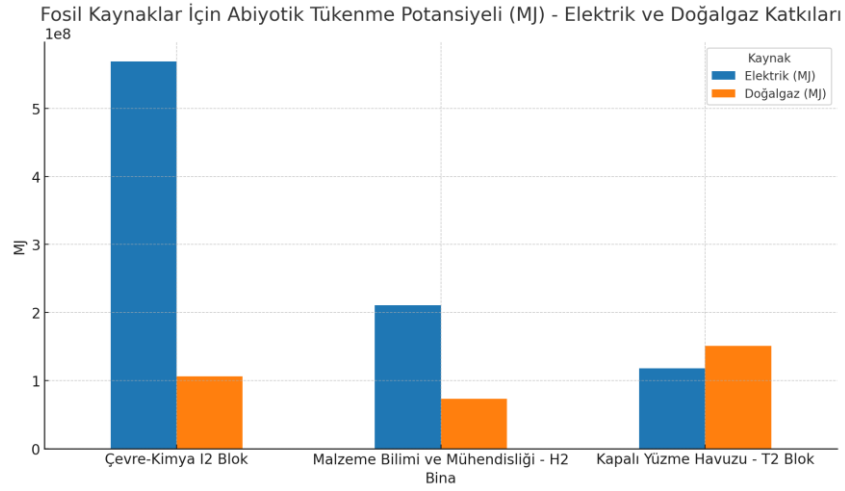
aşamasındaki enerji kullanımından, yalnızca %10,4'ü ise A1-A3 aşamasındaki malzeme üretiminden kaynaklanmaktadır. Bu oran, yapının kullanım sürecinde yüksek miktarda fosil kaynak tükettiğini ve enerji verimliliği açısından olumsuz bir profil sergilediğini göstermektedir. I2 Blok'un 1 m² başına düşen değeri ise 4,58E+04 MJ/m²'dir.

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (H2) Blok, toplamda 3,65E+08 MJ fosil kaynak tüketimi ile ikinci sırada yer almaktadır. Bu yapıda enerji kullanımının toplam içindeki payı %77,5 iken, malzeme üretiminin payı %22,4'tür. Bu oran, I2 Blok'a kıyasla daha dengeli bir dağılıma işaret etmektedir. H2 Blok'un 1 m² başına düşen ADP-fosil değeri 2,59E+04 MJ/m² olup, bu değer H2 Blok'a kıyasla yaklaşık %43,4 daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, yapının hem daha az fosil kaynak kullanması hem de daha iyi enerji verimliliğine sahip olmasıyla açıklanabilir.

Kapalı Yüzme Havuzu (T2) Blok ise toplamda 2,97E+08 MJ ile en düşük toplam fosil kaynak tüketimine sahip yapıdır. Ancak dikkat çekici biçimde, bu yapının 1 m² başına düşen değeri 6,80E+04 MJ/m² ile en yüksek seviyededir. Bu değer H2 Blok'a kıyasla yaklaşık %48,4; H2 Blok'a kıyasla ise yaklaşık %162,5 daha yüksek olduğu görülmektedir. Yapının küçük kapalı alana rağmen yüksek enerji ihtiyacı doğuran işlevler barındırması (örneğin havuz ısıtması, havalandırma sistemleri) bu durumu açıklamaktadır. T2 Blok'un toplam etkisinin %90,6'sı B6 aşamasından kaynaklanmakta olup, enerji kullanımı bu yapı özelinde de belirleyici etmen olmuştur.

Sonuç olarak, bu kategori özelinde, T2 Blok birim alana düşen etkide en olumsuz sonuçları sergilerken, H2 Blok genel fosil kaynak verimliliği açısından en iyi performansı göstermiştir. I2 Blok ise hem toplam tüketim hem de enerji kullanımı oranı açısından yüksek çevresel etkiye sahiptir.

Üç bina için de fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeline açık ara en büyük katkıyı elektrik ve doğalgaz tüketimi yapmıştır. Bu nedenle bu iki kaynak diğer en çok katkı sağlayanlar grafiğinden ayrı olarak gösterilmiştir (**Şekil 4.18**).

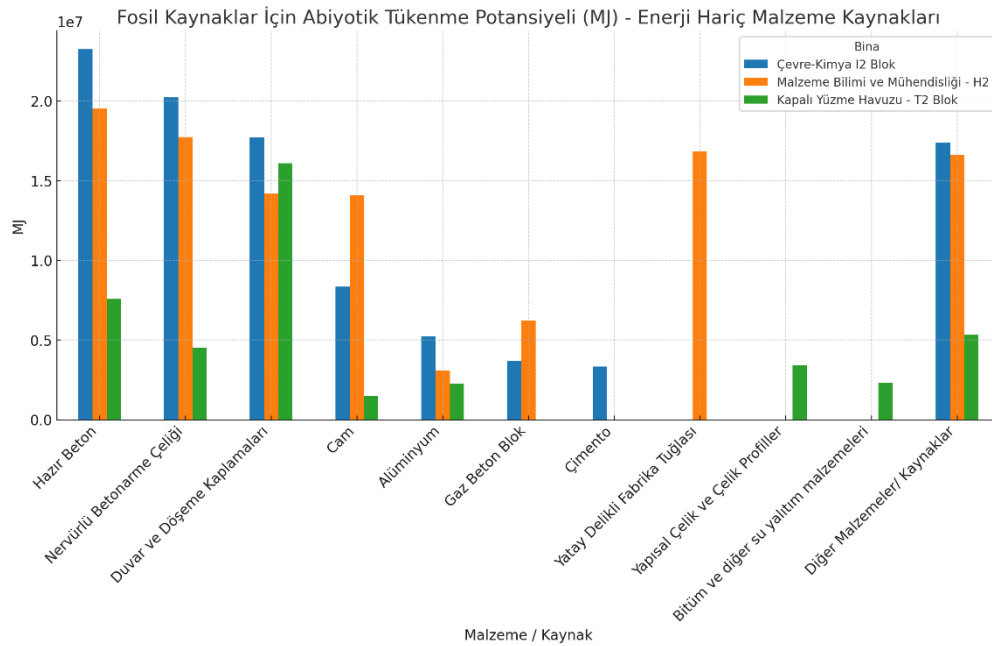


Şekil 4.18: Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeline elektrik ve doğalgaz katkıları (MJ).

Çevre-Kimya I2 Blok Binası (16.476 m²), ADP-fosil yakıtlar potansiyeline en büyük katkıyı elektrik tüketimi ile sağlamaktadır. Elektrikten kaynaklanan ADP etkisi 569.052.472,50 MJ olup, bu, binanın listelenen toplam ADP'sinin yaklaşık %84'ünü oluşturmaktadır. Alan başına düşen elektrik kaynaklı ADP yaklaşık 34.542 MJ/m²'dir. Doğalgaz tüketimi 106.353.733,50 MJ ile ikinci sırada yer almakta ve toplamın yaklaşık %15.7'sini oluşturmaktadır. Alan başına düşen doğalgaz kaynaklı ADP yaklaşık 6.455 MJ/m²'dir. Hazır beton (23.260.907,78 MJ, %3.4) ve nervürlü betonarme çeliği (20.235.396,92 MJ, %3.0) gibi malzemeler de kayda değer, ancak enerji tüketimine kıyasla çok daha düşük etkiler yaratmaktadır.

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası (14.095 m²) da Çevre-Kimya I2 Blok Binası'na benzer şekilde elektrik tüketimi ile öne çıkmaktadır. Elektrikten kaynaklanan ADP etkisi 210.532.095,00 MJ olup, bu, binanın listelenen toplam ADP'sinin yaklaşık %64'ünü temsil etmektedir. Alan başına düşen elektrik kaynaklı ADP yaklaşık 14.937 MJ/m²'dir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın alan başına elektrik kaynaklı ADP değeri, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın alan başına değerinin yaklaşık %43'ü kadardır. Doğalgaz tüketimi 72.965.036,95 MJ ile ikinci sırada yer almakta ve toplamın yaklaşık %22.2'sini oluşturmaktadır. Alan başına düşen doğalgaz kaynaklı ADP yaklaşık 5.177 MJ/m²'dir. Malzeme bazında hazır beton (19.542.169,87 MJ, %5.9), nervürlü betonarme çeliği (17.751.096,21 MJ, %5.4) ve yatay delikli fabrika tuğlası (16.839.239,80 MJ, %5.1) da önemli etkilere sahiptir (**Şekil 4.19**).

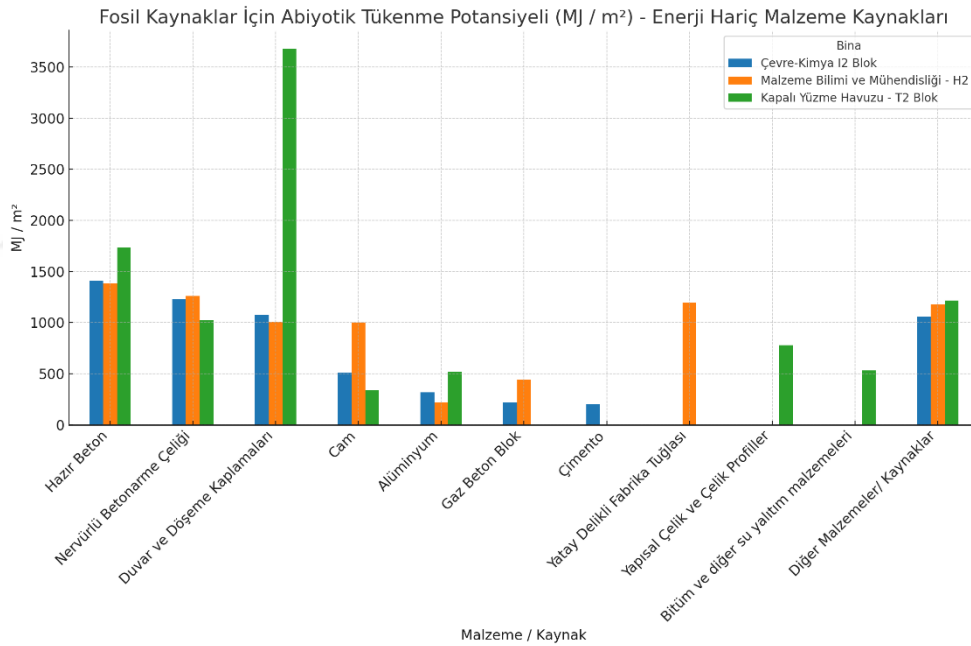
Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası (4.372 m²) için bu kategoride diğer binalardan farklı bir enerji dağılımı görülmektedir. Doğalgaz tüketimi 150.967.987,54 MJ ile en büyük katkıyı sağlamakta ve toplamın yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Alan başına düşen doğalgaz kaynaklı ADP yaklaşık 34.532 MJ/m²'dir. Elektrik tüketimi ise 117.789.920,41 MJ ile ikinci sırada yer almakta ve toplamın yaklaşık %39'unu oluşturmaktadır. Alan başına düşen elektrik kaynaklı ADP yaklaşık 26.942 MJ/m²'dir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın doğalgaz kaynaklı alan başına ADP değeri, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın doğalgaz kaynaklı değerinin yaklaşık 5.3 katı, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nınkinin ise yaklaşık 6.7 katıdır. Bu durum, havuz suyunun ısıtılması ve iklimlendirme gibi yoğun doğalgaz ihtiyacından kaynaklanan binanın özelleşmiş fonksiyonel gereksinimlerini açıkça ortaya koymaktadır. Malzeme bazında duvar ve döşeme kaplamaları (16.082.074,66 MJ, %5.3) ve hazır beton (7.583.875,26 MJ, %2.5) gibi malzemeler de kayda değer etkiler yaratmaktadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19: Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (MJ).

Alan başına düşen Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli karşılaştırıldığında, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın elektrik kaynaklı ADP'si (34.542 MJ/m²), tüm binalar arasında elektrikten kaynaklanan en yüksek alan başına etkiyi

göstermektedir (**Şekil 4.20**). Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın doğalgaz kaynaklı ADP'si (34.532 MJ/m^2), elektrikten hemen sonra ikinci en yüksek alan başına etkiyi temsil etmektedir ve Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın elektrik etkisiyle neredeyse aynı seviyededir. Bu iki değer, bu binaların enerji yoğunluklarının ne kadar yüksek olduğunu gözler önüne sermektedir. Genel olarak, Çevre-Kimya I2 Blok Binası ve Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası, alan başına düşen toplam fosil yakıt tüketimi açısından diğer binalara göre çok daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Çevre-Kimya I2 Blok Binası elektrik odaklı bir enerji yoğunluğuna sahipken, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın enerji yoğunluğu doğalgaz ağırlıklıdır. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın alan başına düşen hem elektrik (14.937 MJ/m^2) hem de doğalgaz (5.177 MJ/m^2) kaynaklı ADP değerleri, diğer iki binaya göre belirgin şekilde daha düşüktür.



Şekil 4.20: Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyelini en çok artıran kaynaklar/malzemeler (MJ/m^2).

Enerji tüketiminin yanı sıra, hazır beton ve nervürlü betonarme çeliği gibi temel yapı malzemeleri de her üç binada da ADP-fosil yakıtlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Duvar ve döşeme kaplamalarında, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın mutlak değeri ($16.082.074,66 \text{ MJ}$) diğer binalara yakın olsa da, alan başına düşen değeri

(yaklaşık 3.678 MJ/m²) Çevre-Kimya I2 Blok Binası (yaklaşık 1.075 MJ/m²) ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'ndan (yaklaşık 1.006 MJ/m²) yaklaşık 3.4 ila 3.6 kat daha yüksektir. Bu durum yine havuz gibi ıslak hacimlerde kullanılan özel ve belki de enerji yoğun kaplama malzemelerinin etkisine işaret etmektedir.

Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın yapısal çelik ve çelik profiller (3.411.268,04 MJ) ve bitüm ve diğer su yalıtım malzemeleri (2.327.341,96 MJ) gibi malzemelerden kaynaklanan ADP etkisi, binanın özgün yapım sistemleri ve su yalıtımı gereksinimlerinin bir sonucudur.

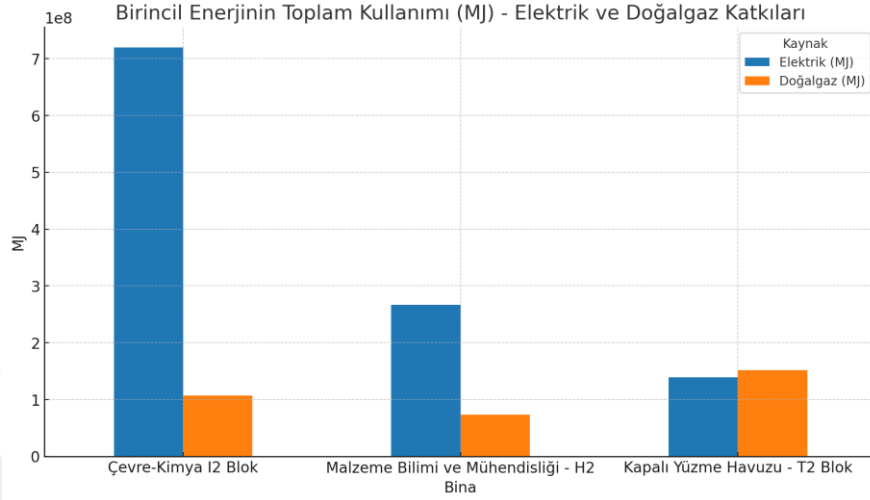
4.9 Birincil Enerjinin Toplam Kullanımı

“Birincil enerjinin toplam kullanımı”, yapı yaşam döngüsü boyunca, hammadde olarak kullanılan birincil enerji kaynakları hariç, doğrudan veya dolaylı olarak enerji üretimi amacıyla tüketilen tüm yenilenebilir ve yenilenemez birincil enerji kaynaklarının toplam miktarını ifade eder. Birincil enerji kullanımına ait değerler MJ birimiyle ifade edilir.

Çevre-Kimya (I2) Blok için toplam birincil enerji kullanımı $9,13 \times 10^8$ MJ olarak hesaplanmıştır. Bu değer %90,4'ü kullanım sürecindeki enerji tüketiminden (B6), %9,6'sı ise yapı malzemelerinin üretiminden (A1–A3) kaynaklanmaktadır. I2 Blok'un 1 m² başına düşen enerji kullanımı $5,54 \times 10^4$ MJ/m² olup, çalışmadaki en yüksek ikinci değerdir. Bu oran, binanın uzun dönemli enerji ihtiyacının gömülü enerjiye göre çok daha baskın olduğunu ve işletme sürecinin enerji performansının toplam etki üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

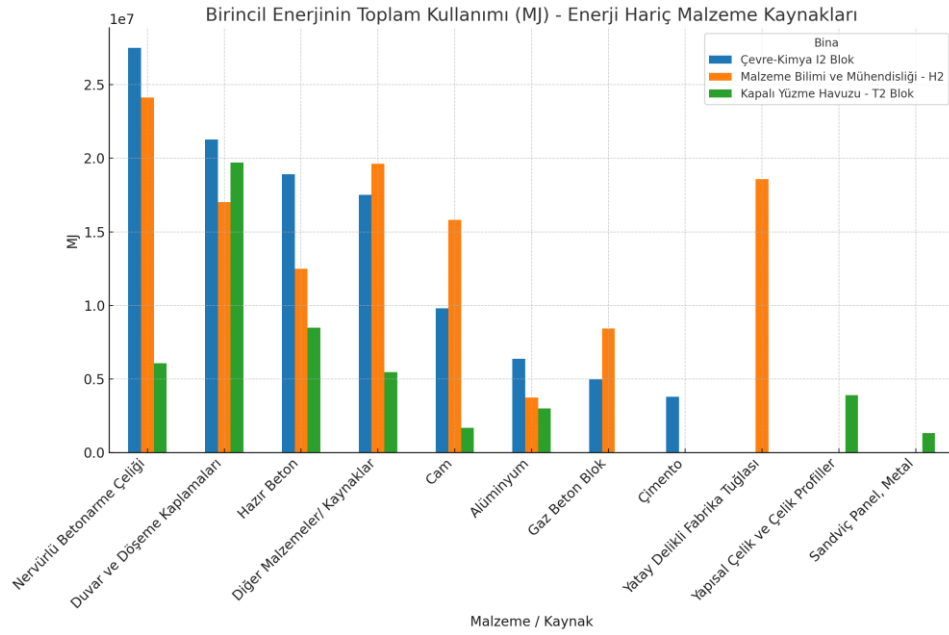
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (H2) Blok için toplam enerji kullanımı $4,29 \times 10^8$ MJ olarak belirlenmiştir. A1–A3 aşaması bu değer %20,8'ini, B6 aşaması ise %79,2'sini oluşturmaktadır. H2 Blok'un 1 m² başına düşen enerji kullanımı $3,05 \times 10^4$ MJ/m² olup, çalışmadaki en düşük değerdir. Bu sonuç, H2 Blok'un gerek işletme sürecinde gerekse kullanılan malzemeler bakımından en enerji verimli yapı olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu yapı I2 Blok'a göre toplam enerji kullanımında yaklaşık %53, T2 Blok'a göre ise %24 daha düşük enerji tüketmiştir.

Üç bina için de birincil enerjinin toplam kullanımına açık ara en büyük katkıyı elektrik ve doğalgaz tüketimi yapmıştır. Bu nedenle bu iki kaynak diğer en çok katkı sağlayanlar grafiğinden ayrı olarak gösterilmiştir (**Şekil 4.21**).



Şekil 4.21: Birincil Enerjinin Toplam Kullanımına elektrik ve doğalgaz katkıları (MJ).

Çevre-Kimya I2 Blok Binası, birincil enerjinin toplam kullanımına en büyük katkıyı elektrik tüketimi ile sağlamaktadır. Elektrikten kaynaklanan toplam enerji kullanımı 720.125.602,50 MJ olup, bu değer binanın toplam birincil enerji kullanımının yaklaşık %78,9'unu oluşturmaktadır. Alan başına düşen elektrik kaynaklı enerji kullanımı yaklaşık 43.700 MJ/m²'dir. Doğalgaz tüketimi ise 107.016.642,95 MJ ile ikinci sırada yer almakta ve toplamın %11,7'sini oluşturmaktadır. Alan başına düşen doğalgaz kaynaklı enerji kullanımı yaklaşık 6.500 MJ/m²'dir. Elektrik ve doğalgazın birlikte toplam birincil enerjinin %90'ından fazlasını oluşturduğu görülmektedir. Malzeme kaynaklı katkılara bakıldığında, nervürlü betonarme çeliği (27.507.136,89 MJ, %3,0), duvar ve döşeme kaplamaları (21.275.802,10 MJ, %2,3) ve hazır beton (18.910.834,42 MJ, %2,1) da önemli paylara sahiptir (**Şekil 4.22**). Bu sonuçlar, yapının birincil enerji kullanımında işletme süreci enerjisinin (B6) baskın olduğunu, ancak gömülü enerji etkilerinin de göz ardı edilemeyecek düzeyde olduğunu göstermektedir.

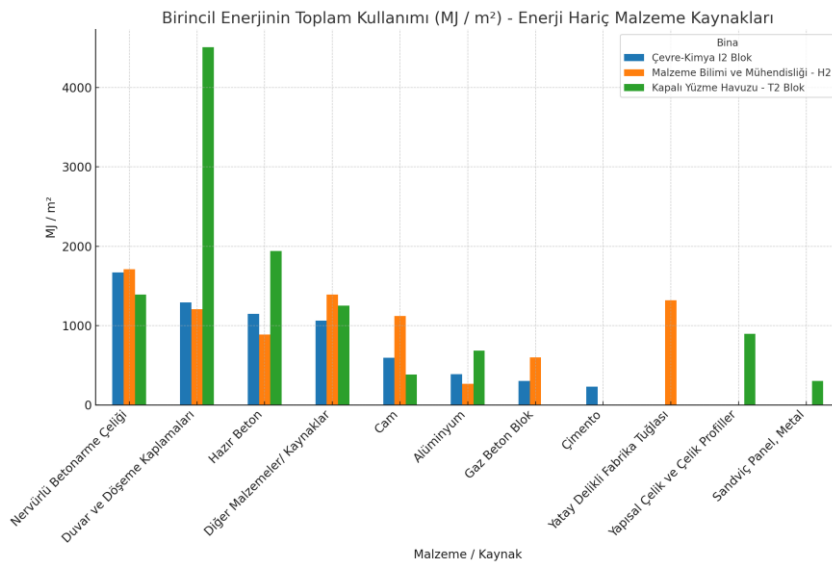


Şekil 4.22: Birincil Enerjinin Toplam Kullanımını en çok artıran kaynaklar/malzemeler (MJ).

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Binası da benzer biçimde elektrik tüketimi ile öne çıkmaktadır. Elektrikten kaynaklanan birincil enerji kullanımı 266.424.555,00 MJ olup, bu değer toplamın yaklaşık %62,1'ini temsil etmektedir. Alan başına düşen elektrik kaynaklı enerji kullanımı yaklaşık 18.900 MJ/m²'dir. Doğalgaz tüketimi, 73.419.832,57 MJ ile ikinci sırada yer almakta ve toplamın %17,1'ini oluşturmaktadır. Alan başına düşen doğalgaz kaynaklı enerji kullanımı yaklaşık 5.200 MJ/m²'dir. Malzeme bazında, nervürlü betonarme çeliği (24.137.145,14 MJ, %5,6), yatay delikli fabrika tuğlası (18.591.961,70 MJ, %4,3) ve duvar ve döşeme kaplamaları (17.008.197,18 MJ, %4,0) en yüksek gömülü enerji etkisine sahip malzemelerdir. Bu kalemler birlikte toplam birincil enerjinin yaklaşık %14'ünü oluşturmaktadır. Bu durum, binada kullanılan malzeme çeşitliliğinin enerji profiline etkisini göstermektedir. Alan başına değerlendirildiğinde, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın elektrik kaynaklı enerji kullanımı (18.900 MJ/m²), Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın değerinin yaklaşık %43'ü düzeyindedir.

Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası, bu kategoride diğer iki binadan farklı bir enerji dağılımına sahiptir. Doğalgaz tüketimi 151.908.980,41 MJ ile birincil enerjinin toplam kullanımına en büyük katkıyı sağlamaktadır. Bu değer, toplamın yaklaşık %46,8'ini oluşturmaktadır. Alan başına düşen doğalgaz kaynaklı enerji kullanımı yaklaşık

34.700 MJ/m²'dir. Elektrik tüketimi, 139.000.531,32 MJ ile ikinci sırada yer almakta ve toplamın %42,8'ini oluşturmaktadır. Alan başına düşen elektrik kaynaklı enerji kullanımı yaklaşık 31.800 MJ/m²'dir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın doğalgaz kaynaklı enerji kullanımı, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın doğalgaz tüketiminin yaklaşık 1,42 katı, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nınkinin ise 2,07 katı düzeyindedir. Alan bazında karşılaştırıldığında bu fark çok daha belirgindir: T2'nin doğalgaz kaynaklı birim enerji kullanımı, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın yaklaşık 5,3 katı, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın ise 6,7 katı düzeyindedir. Bu durum, havuz suyunun ısıtılması, iklimlendirme ve nem kontrolü gibi yüksek enerji gerektiren sistemlerin binanın toplam enerji tüketiminde belirleyici olduğunu açıkça göstermektedir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok bazında ise duvar ve döşeme kaplamaları (19.707.040,29 MJ, %6,1), hazır beton (8.476.217,98 MJ, %2,6), nervürlü betonarme çeliği (6.073.635,40 MJ, %1,9) ve yapısal çelik ve çelik profiller (3.914.608,70 MJ, %1,2) gibi kalemler öne çıkmaktadır. Diğer iki binada bulunmayan yapısal çelik kullanımı, karma taşıyıcı sistemin (betonarme + çelik) enerji profilini yükseltmiştir. Ayrıca, artan ıslak hacim ve kaplama yüzeyleri nedeniyle duvar ve döşeme kaplamalarının birim alana düşen etkisi yaklaşık 4.510 MJ/m² ile Çevre-Kimya I2 Blok (1.290 MJ/m²) ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok (1.210 MJ/m²) binalarına göre yaklaşık 3,5 kat daha fazladır (**Şekil 4.23**).



Şekil 4.23: Birincil Enerjinin Toplam Kullanımını en çok artıran kaynaklar/malzemeler (MJ/m²).

Alan başına düşen toplam birincil enerji kullanımı karşılaştırıldığında, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası (74.300 MJ/m²) en yüksek değere sahiptir ve bu, Çevre-Kimya I2 Blok Binası'ndan yaklaşık %34, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'ndan ise yaklaşık %144 daha fazladır. Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın birim alandaki enerji kullanımı 55.400 MJ/m² iken, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası 30.500 MJ/m² ile en düşük değere sahiptir. Bu sonuçlar, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın yüksek işletme enerjisi talebinin (özellikle doğalgaz) toplam enerji yoğunluğunu artırdığını; Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nın laboratuvar işlevleri nedeniyle elektrik ağırlıklı bir enerji tüketim profiline sahip olduğunu; Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nın ise hem toplamda hem birim alanda en düşük enerji yoğunluğunu göstererek çalışmadaki en enerji verimli yapı olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok doğalgaz odaklı, Çevre-Kimya I2 Blok Binası elektrik odaklı, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası ise dengeli enerji dağılımına sahip bir karakter göstermektedir.

4.10 Bölüm Sonucu

YDD sonuçlarına göre üç kampüs binası (Çevre-Kimya I2 Blok, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok) için tüm çevresel etki kategorileri bütüncül olarak analiz edilmiştir.

Toplam sera gazı salımı açısından en yüksek değer 1,11E+09 kg CO₂e ile Çevre-Kimya (I2) Blok'ta görülmektedir. Bu değer %94,7'si B6 (kullanım aşamasındaki enerji tüketimi) kaynaklıdır ve yoğun miktarda bulunan laboratuvar ekipmanları, aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerinin kullanımı nedeniyle oluşmaktadır. H2 Blok, 4,41E+08 kg CO₂e toplam değeriyle ikinci sırada yer alırken, B6 payı %84,8'dir. T2 Blok ise toplamda 2,68E+08 kg CO₂e ile en düşük değere sahip olsa da, 1 m² başına 6,15E+04 kg CO₂e ile birim alanda en yüksek etkiye sahiptir. Bu durum, T2 Blok'un işlevsel özelliklerinden (havuz, iklimlendirme) dolayı küçük alanda yüksek enerji tüketimi oluşturduğunu göstermektedir. Elde edilen veriler, enerji sarfiyatını azaltmanın ve yapının kullanım şeklini tasarıma dâhil etmenin, sürdürülebilirlik açısından bir öneme sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Bu üç kampüs binasının GWP üzerindeki en baskın etkenin enerji tüketimi olmasıyla beraber binaların fonksiyonlarına göre enerji profilleri (elektrik veya doğalgaz yoğunluğu) farklılık

göstermektedir. Yapı malzemeleri arasında ise beton ve çelik gibi temel elemanlar önemli bir rol oynarken, T2 Bloğun karma yapım sistemi ve ıslak hacimlerindeki artışa bağlı özel kaplamalar, bu binanın malzeme bazlı GWP profilinde diğerlerinden ayrışmasına neden olmuştur. Bu detaylı analiz, binaların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik stratejilerin, hem operasyonel enerji verimliliğini hem de malzeme seçimlerini bina bazında optimize etmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tüm binalarda biyogenik karbon depolama kategorisine ilişkin değer yalnızca A1-3 (malzeme üretimi) aşamasında hesaplanmış ve B6 aşamasında biyogenik karbon etkisi gözlemlenmemiştir. En yüksek biyogenik karbon depolaması $9,85E+04$ kg CO_{2e} bio ile H2 Blok'ta, ardından I2 Blok ($8,41E+04$) ve T2 Blok ($2,13E+03$) gelmektedir. Bu kategori yalnızca negatif değer olarak (depolama anlamında) hesaplandığı için, en yüksek negatif değer (yani en fazla depolama) H2 Blok'a aittir. Birim alanda en iyi sonuç (en çok biyogenik karbon depolama): $6,99E+00$ kg CO_{2e} bio/m² ile H2 Blok'tadır. Çevre-Kimya I2 Blok ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok binaları, özellikle ahşap kapılar aracılığıyla önemli bir biyolojik karbon depolama kapasitesi sunarken, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın özgün fonksiyonu ile nemli ve suya maruz kalan ortamda ahşap bazlı malzemelerin kullanımının sınırlı olmasından kaynaklı olarak malzeme seçimleri, bu kategorideki potansiyelini büyük ölçüde kısıtlamaktadır. Bu bulgular, bina tasarımında ve malzeme seçiminde, sadece operasyonel enerji tüketiminin değil, aynı zamanda malzemelerin doğa dostu özelliklerinin de çevresel etki değerlendirmesinde ne kadar önemli olduğunu bir kez daha vurgulamaktadır.

I2 Blok'ta ozon tabakasının incelmesi etkisinin %98'i malzeme üretiminden (%2 enerji), 1 m² başına $6,35 \times 10^{-3}$ kg CFC₁₁ eq/m² değerine sahiptir. H2 Blok, toplam etki açısından en yüksek değere sahip olup, 1 m² başına $9,06 \times 10^{-3}$ kg CFC₁₁ eq/m² ile en yüksek birim alana sahip yapı olarak öne çıkmaktadır. T2 Blok, en düşük ozon incelmesi potansiyeline sahip olup, 1 m² başına $4,71 \times 10^{-3}$ kg CFC₁₁ eq/m² değerine sahiptir. Genel olarak, ozon tabakasının incelmesi etkisi malzeme üretimi aşamasında yoğunlaşmaktadır, kullanım süreci kaynaklı katkılar ise tüm yapılarda düşüktür. Bu durum, sürdürülebilirlik açısından düşük ODP değerine sahip malzeme seçimlerinin kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Üç kampüs binasının ODP üzerindeki en baskın faktör, açık ara farkla EPS (genişletilmiş polistiren) yalıtımının kullanımıdır. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası, alan başına en yüksek EPS kaynaklı ODP

değerine sahipken, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın bu kategorideki etkisi, daha az EPS kullanımı veya farklı yalıtım çözümleri nedeniyle diğerlerine göre daha düşüktür. Diğer kaynaklar, özellikle operasyonel enerji tüketimi ve temel yapı malzemeleri, bu kategoride göz ardı edilebilir düzeyde bir etkiye sahiptir. Bu bulgu, ODP'yi azaltmaya yönelik stratejilerin, özellikle binalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin türüne ve üretim süreçlerine odaklanması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Genel değerlendirmeye göre, tüm binalarda asitleşme potansiyelinin baskın kaynağı kullanım sürecindeki enerji tüketimi (B6 aşaması) olup, bu etki toplam emisyonların %84 ila %92'sini oluşturmaktadır. En yüksek toplam ve birim alana düşen emisyonlar I2 Blok'ta gözlemlenmiş, en düşük toplam değere ise T2 Blok ulaşmıştır. Ancak T2 Blok'un 1 m² başına yüksek asitleşme potansiyeli taşınması, bu yapının kullanım biçiminin (ısıtma, havalandırma, nem kontrolü gibi) çevresel etkiyi önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Bu bağlamda, yapıların enerji performansı, sadece sera gazı salımı açısından değil, asitleşme potansiyeli gibi yerel çevresel etkiler açısından da kritik öneme sahiptir. Elektrik tüketimi, Küresel Isınma Potansiyeli'nde olduğu gibi bu Asitleşme kategorisinin de mutlak ve alan bazında en baskın kaynağı konumundadır. Çevre-Kimya I2 Blok Binası, alan başına en yüksek elektrik kaynaklı asitleşme etkisini gösterirken, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası en düşük etkiye sahiptir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda ise elektrikten sonra doğalgazın ve duvar ve döşeme kaplamalarının nispeten daha yüksek bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Malzemeler arasında ise beton, çelik ve kaplamalar dikkat çekmekte, özellikle Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın özel yapısal ve fonksiyonel ihtiyaçları nedeniyle malzeme bazlı farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu analiz, özellikle elektrik üretimindeki emisyonların kontrol altına alınmasının, binaların Asitleşme Potansiyeli'ni azaltmada anahtar bir rol oynayacağını göstermektedir.

En yüksek toplam ötrofikasyon etkisi I2 Blok'ta (9,26E+04 kg) gözlemlenmiştir; %86,2'si enerji kullanımından kaynaklıdır. T2 Blok, toplamda en düşük değere (2,11E+04 kg) sahip olsa da, m² başına 4,81E+00 kg PO₄³⁻-eq ile ikinci sıradadır. H2 Blok, hem toplamda hem de birim alanda daha düşük değerlere sahiptir, 3,20E+00 kg/m² ile en iyi sonucu sunmaktadır. Kampüs binalarının Ötrofikasyon Potansiyeli değerlendirildiğinde, elektrik tüketimi, Küresel Isınma Potansiyeli ve Asitleşme Potansiyeli'nde olduğu gibi bu kategorinin de mutlak ve alan bazında en baskın

kaynağı konumundadır. Çevre-Kimya I2 Blok Binası, alan başına en yüksek elektrik kaynaklı ötrofikasyon etkisini gösterirken, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası en düşük etkiye sahiptir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda ise elektrikten sonra doğalgazın ve duvar ve döşeme kaplamalarının alan başına nispeten daha yüksek bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Malzemeler arasında ise betonarme çeliği, alüminyum ve hazır beton genel katkı sağlarken, her binanın özgün mimarisi ve fonksiyonel ihtiyaçları (Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası'nda plastik membranlar, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda sandviç paneller ve yapısal çelik gibi) malzeme bazlı farklılıkları ortaya çıkarmaktadır. Bu analiz, özellikle elektrik üretimindeki besin maddesi emisyonlarının ve belirli yapı malzemelerinin üretim süreçlerinin çevresel etkilerini kontrol altına almanın, binaların Ötrofikasyon Potansiyeli'ni azaltmada önemli bir rol oynayacağını göstermektedir.

Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli kategorisinde en yüksek birim alan etkisi $3,97E+02$ kg etilen/m² ile T2 Blok'a aittir. Bu değer, I2 Blok'a göre %248, H2 Blok'a göre %320 daha yüksektir. Toplamda ise I2 Blok en yüksek etkiye sahiptir ($1,87E+06$ kg), ancak bu durum büyük yapı alanı ve yüksek enerji tüketimiyle ilişkilidir. T2 Blok'un küçük yüzölçümüne oranla çok daha fazla fotokimyasal etki yarattığı açıkça görülmektedir. Kampüs binalarının Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyeli değerlendirildiğinde, XPS (ekstrüde polistiren) yalıtımının Çevre-Kimya I2 Blok ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binaları için mutlak ve alan bazında açık ara en baskın kaynak olduğu görülmektedir. Bu yalıtım malzemesinin kullanımı, bu binaların POCP profilini neredeyse tamamen domine etmektedir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda ise XPS yalıtımının görece minimal kullanımı, bu kategorideki toplam etkinin dramatik şekilde düşmesine yol açmış ve alüminyum ile duvar ve döşeme kaplamaları gibi diğer malzemelerin göreceli önemini artırmıştır. Bu analiz, Fotokimyasal Oksidanların Oluşma Potansiyeli'ni azaltmaya yönelik stratejilerin, özellikle binalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin seçimi ve üretim süreçlerindeki kimyasal emisyonların kontrol altına alınmasına odaklanması gerektiğini güçlü bir şekilde vurgulamaktadır.

Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli için en yüksek toplam değer H2 Blok'ta ($4,01E+03$ kg) bulunurken, T2 Blok $4,07E+02$ kg ile en düşük değeri göstermektedir. Ancak m² başına düşen değer açısından yine T2 Blok ($9,31E-02$ kg Sb-eq/m²) I2 Blok'tan %53,2; H2 Blok'tan ise %67,2 daha düşük etki göstermiştir. Bu

durumda T2 Blok, birim alanda en iyi sonucu sağlamaktadır. Kampüs binalarının Fosil Olmayan Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli değerlendirildiğinde, diğer birçok çevresel etki kategorisinin aksine, bu kategoride operasyonel enerji tüketimi yerine yapı malzemelerinin, özellikle gaz beton blok, çimento ve hazır beton gibi mineral kaynaklı malzemelerin, mutlak ve alan bazında en baskın kaynaklar olduğu açıkça görülmektedir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası, alan başına en yüksek gaz beton kaynaklı ADP etkisini gösterirken, Çevre-Kimya I2 Blok Binası onu takip etmektedir. Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın bu kategorideki etkisi ise, alanına oranla diğerlerinden daha düşüktür. Bu analiz, özellikle bu tür kaynakların çıkarılması ve işlenmesiyle ilgili süreçlerin çevresel etkilerini kontrol altına almanın, binaların Abiyotik Tükenme Potansiyeli'ni azaltmada anahtar bir rol oynayacağını göstermektedir.

Kampüs binalarının Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli değerlendirildiğinde, operasyonel enerji tüketimi (elektrik ve doğalgaz), Küresel Isınma Potansiyeli ve Asitleşme Potansiyeli'nde olduğu gibi bu kategorinin de mutlak ve alan bazında en baskın kaynağı konumundadır. Toplamda en yüksek fosil enerji tüketimi I2 Blok'tadır ($7,54E+08$ MJ) ve bunun %89,5'i enerji kullanımından kaynaklanmaktadır. Ancak birim alana göre en yüksek değer yine T2 Blok'tadır ($6,80E+04$ MJ/m²). Bu değer, H2 Blok'a kıyasla %162,5; I2 Blok'a göre %48,4 daha yüksektir. Enerji yoğunluğu açısından T2 Blok en olumsuz yapı olarak öne çıkmaktadır. Çevre-Kimya I2 Blok Binası'nda elektrik, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nda ise doğalgaz, fosil kaynak tüketimini en çok etkileyen faktörlerdir. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği H2 Blok Binası, alan başına düşen enerji kaynaklı ADP açısından diğer iki binaya göre daha düşük bir profile sahiptir. Yapı malzemeleri arasında beton, çelik ve duvar kaplamaları da kayda değer katkılar sunarken, Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası'nın fonksiyonuna özgü malzemeler (yapısal çelik, bitüm/su yalıtım) bu binanın profilinde belirginleşmektedir. Bu analiz, binaların fosil yakıt tüketimini azaltmaya yönelik stratejilerin, özellikle enerji verimliliği önlemlerine ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişe odaklanması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Birincil enerjinin toplam kullanımı açısından en yüksek toplam enerji tüketimi I2 Blok'ta, en yüksek birim alan enerji yoğunluğu T2 Blok'ta, en düşük enerji yoğunluğu ise H2 Blok'ta tespit edilmiştir. I2 Blok'un enerji profili elektrik ağırlıklı, H2

Blok'un ki dengeli, T2 Blok'un ki ise doğalgaz yoğun bir dağılım göstermektedir. H2 Blok, hem üretim hem de kullanım sürecinde daha düşük enerji tüketimiyle öne çıkarken, T2 Blok'ta yapım sistemi ve işlevsel özellikler enerji talebini artırmış, I2 Blok ise geniş alanı ve yüksek elektrik bağımlılığı nedeniyle toplamda en yüksek enerji tüketimine sahip yapı olmuştur. Bu sonuçlar, yapıların kullanım türü, sistem seçimi ve enerji tüketim biçimlerinin, yaşam döngüsü boyunca birincil enerji kullanımını belirleyen en kritik unsurlar olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, T2 Blok (Kapalı Yüzme Havuzu), birim alan başına çevresel etki açısından birçok kategoride en yüksek değerlere sahiptir. Bu durum yapının işlevsel özelliklerinden ve enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. H2 Blok, çoğu kategoride, **Tablo 4.4'**de görüldüğü gibi, hem toplam hem birim alanda en iyi performansı gösteren yapıdır. Malzeme seçimi ve enerji kullanımının görece verimliliği bu sonucu desteklemektedir. I2 Blok, geniş alanı ve yüksek enerji tüketimiyle toplam etkilerde genellikle ilk sırada yer almakta, özellikle fosil yakıt tüketimi ve küresel ısınma potansiyeli açısından çevresel yük oluşturduğu görülmektedir.

Tablo 4.4: Üç yapı için 1 m² başına normalize edilmiş etki değerleri (Tablo hücrelerindeki koyu değerler, ilgili kategori için en düşük, yani en çevreci birim alan etki değerlerini göstermektedir.)

Etki Kategorisi	Birim	I2 Blok	H2 Blok	T2 Blok
Küresel Isınma Potansiyeli	kg CO ₂ eq/m ²	3 920	2 250	5 280
Biyojenik Karbon Depolama	kg CO ₂ eq bio/m ²	5,10	6,99	0,487
Ozon Tabakasının İncelmesi	kg CFC ₁₁ eq/m ²	$6,35 \times 10^{-3}$	$9,06 \times 10^{-3}$	$4,71 \times 10^{-3}$
Asitleşme Potansiyeli	kg SO ₂ eq/m ²	22,3	10,8	18,7
Ötrofikasyon Potansiyeli	kg PO ₄ ³⁻ eq/m ²	5,62	3,20	4,81
Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli	kg C ₂ H ₄ eq/m ²	114	94,4	397
Abiyotik Tükenme Potansiyeli (Fosil Olmayan)	kg Sb eq/m ²	0,199	0,284	0,0931

Tablo 4.4: Devam.

Abiyotik Tükenme Potansiyeli (Fosil Yakıtlar)	MJ/m ²	45 800	25 900	68 000
Birincil Enerjinin Toplam Kullanımı	MJ/m ²	55 400	30 500	74 300

5. SONUÇ

Günümüz dünyasında, iklim değişikliği ve kaynak tükenmesi gibi küresel çevresel sorunlar, inşaat sektörünün ve özellikle büyük yapıların çevresel etkilerinin derinlemesine incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, kampüsleri oluşturan yapıların YDD'si, söz konusu yapıların çevresel performanslarını kapsamlı bir şekilde analiz etmek ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak adına kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Kampüsler, eğitim, araştırma ve sosyal faaliyetlerin yanı sıra yüksek enerji tüketimi ve çevresel etkiler oluşturan karmaşık yaşam alanlarıdır. Bu nedenle, kampüslerdeki YDD çalışmaları, sürdürülebilir yönetim ve çevresel performansın iyileştirilmesi için büyük önem taşır. Bu değerlendirmeler, hem mevcut kampüslerin iyileştirilmesine hem de gelecekteki yapılaşma süreçlerinin daha bilinçli ve sorumlu bir şekilde planlanmasına olanak tanıyarak, sürdürülebilir bir gelecek inşa etme çabalarına önemli bir katkı sunmaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışması, GTÜ kampüsünde yer alan seçili eğitim binalarının enerji tüketimlerini ve malzeme temelli çevresel etkilerini YDD yaklaşımıyla analiz etmeyi amaçlamıştır. Çalışma kapsamında, yapıların işletme aşamasındaki elektrik ve doğalgaz kaynaklı kullanım enerjileri (B6) ile yapı malzemelerine bağlı olarak ortaya çıkan A1-3 (hammadde temini, taşıma, üretim) yaşam döngüsü aşamalarının çevresel etkileri, One Click LCA yazılımı kullanılarak TS EN15978, ISO 14040 ve ISO 14044 standartları ile CML metodolojisi doğrultusunda değerlendirilmiştir. Küresel ısınma potansiyeli, biyolojik karbon depolama, ozon tabakasının incelmeye, asitleşme, ötrofikasyon, fotokimyasal oksidan oluşumu, fosil olmayan kaynaklar ve fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli ve birincil enerjinin toplam kullanımı çalışma kapsamında değerlendirilen çevresel etki kategorileridir.

Yapılan ön analizler sonucunda, GTÜ kampüsündeki enerji tüketim verileri incelenmiş ve Çevre-Kimya I2 Blok, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği- H2 ve Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok binaları kampüsün en yüksek kullanım enerjisine sahip yapılar olarak belirlenerek detaylı incelemeye dahil edilmiştir. Elde edilen bulgular, binaların çevresel performansı hakkında önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Üç farklı kampüs binasında gerçekleştirilen YDD analizlerine göre, her bir binanın çevresel etkileri, fonksiyonel özellikleri ve enerji profillerine bağlı olarak değişiklik

göstermektedir. Hem toplam emisyon/etki değerleri hem de 1 m²'ye normalize edilmiş değerler üzerinden yapılan analizde; enerji kullanımı (B6 aşaması) tüm kategorilerde baskın paya sahip olup, binanın işlevsel özellikleri ve alan büyüklüğü normalize edildiğinde ortaya çıkan sıralamalar önemli ölçüde farklılık göstermiştir.

Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) açısından, en yüksek sera gazı salım değeri Çevre-Kimya (I2) Blok'ta gözlemlenmiş olup, bu binadaki etkilerin büyük kısmı enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (H2) Blok ise daha düşük bir GWP değeriyle ikinci sıradadır, ancak Kapalı Yüzme Havuzu (T2) Blok alan bazında en yüksek etkileri gösteren binadır. Bu, binanın fonksiyonel gereksinimleri, özellikle havuz ve iklimlendirme sistemlerinin yüksek enerji tüketimi ile ilişkilidir. Bu bulgular, bina tasarımlarında enerji verimliliğinin artırılması ve kullanım fonksiyonlarının sürdürülebilir şekilde optimize edilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Biyogenik Karbon Depolama kategorisinde, H2 Blok en yüksek depolama kapasitesine sahip bina olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, özellikle yapıdaki ahşap malzemelerden kaynaklanmaktadır. T2 Blok ise nemli ortamda ahşap kullanımının sınırlı olması nedeniyle bu kategoride en düşük değeri göstermektedir. Bu sonuç, yapı malzemelerinin çevresel etkileri üzerindeki önemli rolünü ve doğa dostu malzeme seçimlerinin bina tasarımındaki etkisini vurgulamaktadır. Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (ODP) açısından, I2 Blok'ta malzeme üretimi kaynaklı etkiler belirgin şekilde yüksek olup, yalıtım malzemesi olarak kullanılan EPS'nin (geniştirilmiş polistiren) bu kategorideki etkisini büyük ölçüde artırdığı görülmektedir. T2 Blok ise daha az EPS kullanımı nedeniyle bu kategorideki etkisini daha düşük seviyelerde tutmaktadır. Bu bulgu, sürdürülebilir yalıtım malzemelerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken unsurların başında gelmektedir. Asitleşme Potansiyeli (AP) değerlendirildiğinde, kullanım aşamasındaki enerji tüketimi yine en baskın etken olarak öne çıkmaktadır. I2 Blok'ta elektrik kullanımının asitleşme üzerindeki etkisi en yüksektir, ancak T2 Blok'un küçük alanına rağmen yüksek enerji tüketimi, bu kategorideki etkiyi artırmaktadır. Yapıların enerji tüketim stratejileri, sadece sera gazı emisyonlarını değil, aynı zamanda yerel çevresel etkiler olan asitleşme gibi faktörleri de azaltmaya yönelik olmalıdır. Ötrofikasyon Potansiyeli (EP) ise elektrik tüketimi ile doğrudan ilişkilidir ve I2 Blok'ta en yüksek değer gözlemlenmiştir. T2 Blok, alan başına düşen ötrofikasyon etkisinde ikinci sırada yer almakta olup, malzeme seçimlerinin bu etkiye olan katkısını göstermektedir. Elektrik

tüketiminin azaltılması, bu tür çevresel etkilerin kontrol altına alınmasında kritik bir rol oynamaktadır. Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli (POCP) kategorisinde, T2 Blok birim alan başına en yüksek etkiye sahip olup, bu durum binanın küçük yüzey alanına oranla çok yüksek bir fotokimyasal etki üretmesinden kaynaklanmaktadır. I2 Blok'ta XPS yalıtımının kullanımının bu etkiyi önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, fotokimyasal oksidan oluşumunun azaltılmasına yönelik stratejilerin, özellikle yalıtım malzemelerinin seçiminde sağlanacak verimlilikle etkili olacağını göstermektedir. Abiyotik Tükenme Potansiyeli (ADP) açısından, H2 Blok fosil olmayan kaynaklar için en yüksek değeri gösterirken, T2 Blok alan başına en düşük etkiyi sunmaktadır. Bu, yapı malzemelerinin, özellikle mineral kaynaklı malzemelerin çevresel etkilerinin kontrol altına alınmasının, abiyotik tükenmeyi azaltmada önemli bir etken olduğunu ortaya koymaktadır. Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli incelendiğinde, I2 Blok'ta en yüksek fosil enerji tüketimi kaydedilmiştir ve bunun büyük kısmı operasyonel enerji kullanımıyla ilişkilidir. T2 Blok ise yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle bu kategoride en olumsuz profile sahip yapıdır. Fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, bu etkilerin azaltılmasında önemli stratejiler olarak öne çıkmaktadır. Birincil enerjinin toplam kullanımı açısından yapılan değerlendirmede, I2 Blok en yüksek toplam enerji tüketimine sahip yapı olarak öne çıkmaktadır. T2 Blok birim alan başına en yüksek enerji yoğunluğunu gösterirken, H2 Blok en düşük enerji yoğunluğuna ulaşmıştır. I2 Blok'un enerji profili elektrik ağırlıklı, H2 Blok'unki daha dengeli, T2 Blok'unki ise doğalgaz odaklı bir dağılım sergilemektedir. H2 Blok'un üretim ve kullanım süreçlerindeki düşük enerji gereksinimi, yapı sisteminin verimliliğini yansıtırken; T2 Blok'ta işlevsel gereklilikler ve sistem özellikleri enerji talebini artırmıştır. Sonuç olarak, yapıların kullanım amacı, sistem tercihleri ve enerji kaynak dağılımı, yaşam döngüsü boyunca birincil enerji kullanımını belirleyen temel faktörler olarak öne çıkmaktadır.

H2 Blok, malzeme seçimi ve enerji verimliliği açısından çoğu kategoride en düşük birim alana düşen çevresel etki değerine sahipken; T2 Blok, kapalı yüzme havuzu işlevinin getirdiği yüksek enerji ihtiyacı ve yapısal özellikleri nedeniyle birim alana düşen etki kategorilerinin çoğunda en yüksek değerlere ulaşmıştır. I2 Blok ise özellikle küresel ısınma potansiyeli ve fosil yakıt tüketimi bakımından toplamda en yüksek çevresel baskıyı oluşturmuştur.

Bu çalışma, kampüs binalarının çevresel etkilerinin azaltılması ve sürdürülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesi açısından değerli katkılar sunmayı hedeflemektedir. Elde edilen bulgular, enerji verimliliği önlemlerinin ve doğru malzeme seçimlerinin kampüslerin karbon ayak izini düşürmedeki kritik rolünü bilimsel verilerle desteklemektedir. Binalarda çevresel etkilerin en fazla olduğu yaşam döngüsü aşaması en fazla yaşam ömrüne sahip olması nedeniyle kullanım sürecidir. Bu nedenle enerji tüketimine odaklanmak amacıyla B6 aşaması incelenmiştir. Bununla birlikte, günümüzde enerji verimliliğinin artması ve enerji tüketimindeki karbonsuzlaşma süreciyle birlikte, inşaat sektöründeki gömülü emisyonların payı giderek artmaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında üretim aşamasından (A1–A3) kaynaklanan gömülü emisyonlar ile kullanım aşamasından (B6) kaynaklanan çevresel etkiler birlikte değerlendirilmiştir. Gelecek çalışmalar için, bu tezin kapsamı dışında bırakılan yaşam döngüsü aşamalarının (A4–A5, B1–B5, B7, C ve D modülleri) de dâhil edilmesiyle daha geniş çaplı analizler yapılması önerilmektedir. Ayrıca, farklı kampüs binalarının ve çeşitli üniversitelerin karşılaştırmalı YDD çalışmaları, sürdürülebilir kampüs politikalarının daha geniş ölçekte geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kampüslerdeki entegrasyonu ve mevcut kampüs binalarının çevresel etkilerini azaltmak için tadilat durumlarında izlenmesi gereken senaryolar incelenmesi gereken alanlardır.

Bu tez kapsamında yapılan ve gelecekte yapılacak olan YDD’ler, Türkiye veya belirli bir bölgedeki üniversite yapıları için kapsamlı bir yaşam döngüsü envanteri ve çevresel etki veri tabanı oluşturulmasına olanak tanıyabilir. Bu veri tabanları, benzer yeni projelerin çevresel etkilerini tahmin etmek ve karşılaştırmalı analizler yapmak için değerli bir referans noktası olarak kullanılabilir. Farklı yapı türleri, tasarım yaklaşımları ve malzeme seçimlerinin çevresel performansları kıyaslanarak, sürdürülebilir bina tasarımı ve inşaatı için en iyi uygulama modelleri belirlenebilir. Bu modeller, gelecekteki projelere yönelik tasarım kılavuzları ve standartlar için temel teşkil edebilir.

KAYNAKLAR

Akın, N., (2018), “Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik seçilen bir modelin tuğla örneği üzerinden irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Al-Ghamdi, S. G., & Bilec, M. M., (2017), “Green building rating systems and wholebuilding life cycle assessment: Comparative study of the existing assessment tools”, Journal of Architectural Engineering, 23(1), 04016015.

Arıkan, E. H., (2021), “Life cycle assessment of a restaurant”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Aygenç, M. (2019), “Life Cycle Assessment (LCA) of a LEED-Certified Green Building using two different LCA tools”, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik 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.

Bashmakov, I. A., Nilsson, L. J., Acquaye, A., Bataille, C., Cullen, J. M., Fischedick, M., ... & Tanaka, K. (2022), "Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Chapter 11.

Barutçu, N., (2020), "Çapraz Lamine Ahşap Ve Betonarme Taşıyıcı Sistemli Tekil Konut Yapılarının Çevresel Etkilerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Bate S., (2011), "Creating an efficient campus", White paper.

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

Brander, M., (2012), "Greenhouse Gases, CO₂, CO₂e, and Carbon: What Do All These Terms Mean?", [https://ecometrica.com/assets/GHGs- CO2- CO2e -and-Carbon What-Do-These-Mean-v2.1.pdf](https://ecometrica.com/assets/GHGs-CO2-CO2e-and-Carbon-What-Do-These-Mean-v2.1.pdf). Erişim Tarihi: 23.06.2025.

Buyle, M., Braet, J., Audenaert, A., (2013), "Life cycle assessment in the construction sector: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 379-388.

Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., Castell, A., (2014), "Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29, 394-416.

Cabbar, C., (2024), "Sürdürülebilirlik için eğitim alanındaki sıfır atık yönetimi örneği: Sakarya üniversitesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.

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

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

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.

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

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

Curran M. A., (2015), "Life Cycle Assessment Student Handbook", Scrivener Publishing LLC.

Dağlıoğlu, S. T., (2021), "Carbon Footprint Analysis of Ege University within the Scope of Environmental Sustainability", Commagene Journal of Biology, 5(1), 51-58.

De Wolf, C., Cordella, M., Dodd, N., (2020), "Criteria For Analysis of LCA Software Tools and Databases For Buildings – DRAFT 4.1", European Commission Joint Research Centre.

Demirer G., (2011), "Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) ve Uygulama Örnekleri", Çevre Alanında Kapasite Geliştirme Projesi Entegre Ürün Politikaları ve Sürdürülebilir Kaynak Yönetimi, <https://silo.tips/download/yaam-dngsanalizi-lca-ve-uygulama-ornekleri>. Erişim Tarihi: 25.05.2023.

Dixit, M. K., Culp, C. H., Fernández-Solís, J. L., (2013), "System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21, 153-164.

Dossche, C., Boel, V., De Corte, W., (2017), "Use of life cycle assessments in the construction sector: critical review", Procedia Engineering, 171, 302-311.

Ebrahimi, G., (2020), "Embodied carbon and deep retrofits".

Gebze Teknik Üniversitesi, (2021), "Kurum İç Değerlendirme Raporu".

Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Ofisi, (2022), "Gebze Teknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Raporu".

Genç, S., (2021), "Bir üniversite yemekhanesinden kaynaklanan çevresel etkiler", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Guinée, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T., Rydberg, T., (2011), "Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future", *Environmental Science & Technology*, 45, 90-96.

Gulcimen, S., Qadri, S., Donmez, R. O., & Uzal, N., (2023), "A holistic sustainability assessment of a university campus using life cycle approach", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(3), 3309-3322.

Hammond, G., Jones, C., Lowrie, E. F., & Tse, P., (2011), "Embodied carbon. The inventory of carbon and energy (ICE)", Version (2.0), 16.

Han, G., Srebric, J., (2011), "Life-cycle assessment tools for building analysis", *Engr. Psu. Edu*, 7.

Heijungs, R., Guinée, J., (2012), "An Overview of the Life Cycle Assessment Method - Past, Present, and Future". M. A. Curran içinde, "Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products", Scrivener Publishing.

Hendrickson, C. T., Horvath, A., Joshi, S., Klausner, M., Lave, L. B., McMichael, F. C., (1997), "Comparing two life cycle assessment approaches: a process model vs. economic input-output-based assessment", *Proceedings of the 1997 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 176-181.

Herrmann, I. T., Moltesen, A., (2015), "Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose?—a comparative assessment of SimaPro and GaBi", *Journal of Cleaner Production*, 86, 163-169.

Horne, R., Grant, T., Verghese, K., (2009), "Life cycle assessment: principles, practice, and prospects", CSIRO Publishing.

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.

İlhan, B., "A life cycle sustainability assessment methodology for thermal insulation materials ", Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Jacquemin, L., Pontalier, P.-Y., Sablayrolles, C., (2012), "Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: a review", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, 1028-1041.

Jayasinghe, L. B., Waldmann, D., (2020), "Development of a BIM-based web tool as a material and component bank for a sustainable construction industry", *Sustainability*, 12(5), 1766.

Jürgens, M., Hartmann, K., Endres, H. J., & Spierling, S. (2023), "Life cycle assessment of higher education institutions–method and case study", *Journal of Cleaner Production*, 430, 139649.

Karunaratne, S., Dharmarathna, D., (2022), "A review of comprehensiveness, user-friendliness, and contribution for sustainable design of whole building environmental life cycle assessment software tools", *Building and Environment*, 108784.

Khasreen, M. M., Banfill, P. F. G., Menzies, G. F., (2009), "Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review", *Sustainability*, 1(3), 674-701.

Klöpffer, W., Curran, M. A., (2017), "Life cycle assessment: goal and scope definition in life cycle assesment", Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16860-1.

Koç, İ., Duru, M. O., Dinçer, S. G., (2022), "Yapılarda gömülü ve kullanım enerjisi kavramlarının yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) metodolojisiyle irdelenmesi", *bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design*, 3(1), 55-69.

Kotaji, S., Schuurmans, A., Edwards, S., (2003), ""Life cycle assessment in building and construction. A state-of-the-art report" , SETAC.

Lotteau, M., Loubet, P., Pousse, M., Dufrasnes, E., Sonnemann, G., (2015), "Critical review of life cycle assessment (LCA) for the built environment at the neighborhood scale", *Building and Environment*, 93, 165-178.

Macías, A., Matilla-García, M., (2015), "Net energy analysis in a Ramsey–Hotelling growth model", *Energy Policy*, 86, 562-573.

Margni, M., Curran, M. A. (2012). "Life cycle impact assessment. Life cycle assessment handbook: a guide for environmentally sustainable products", 67-104.

Menoufi, K., (2011), "Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A state of the art" Yüksek Lisans Tezi, University of Lleida.

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

Önal, H., (2022), "Prefabrike Ve Geleneksel Ahşap Esaslı Yapım Sistemlerinin Karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi", Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi.

Ortiz, O.,Castells, F., Sonnemann, G, (2009), "Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA", *Construction and building materials*, 23(1), 28-39.

Petroche, D. M., Ramírez, A. D., Rodríguez, C. R., Salas, D. A., Boero, A. J., Duque-Rivera, J., (2015), "Life cycle assessment of residential buildings: A review of methodologies", WIT Transactions on Ecology and the Environment, 194, 217-225.

Potrč Obrecht, T., Röck, M., Hoxha, E., Passer, A., (2020), "BIM and LCA integration: A systematic literature review", Sustainability, 12(14), 5534.

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

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

Reiter, S. (2010), "Life cycle assessment of buildings-a review", ArcelorMittal International Network in Steel Construction: Sustainability Workshop and Third Plenary Meeting.

Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., ... & Müller, D. B. (2020), "Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation", Applied Energy, 258, 114107.

SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), (1991), "A technical framework for life cycle assessment", Pensacola, USA.

SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), (1993), "A conceptual framework for life-cycle impact assessment", Pensacola, USA.

SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), (1993), "Guidelines for life cycle assessment: a 'code of practice'", Sesimbra, Portugal.

Silva, D. A. L., Nunes, A. O., Piekarski, C. M., da Silva Moris, V. A., de Souza, L. S. M., Rodrigues, T. O., (2019), "Why using different Life Cycle Assessment software tools can generate different results for the same product system? A cause–effect analysis of the problem", Sustainable Production and Consumption, 20, 304-315.

Silva, D., Nunes, A. O., da Silva Moris, A., Moro, C., Piekarski, T. O. R., (2017), "How important is the LCA software tool you choose Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto", VII Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida en Latinoamérica, 10-15, Medellin, Colombia.

Sönmez, C., (2019), "Ahşap kaplamalı betonarme bir yapının yapım ve yaşam sonu aşamalarının çevresel etkileri", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Şenöztop, E., (2023), "Using budget allocation optimization technique to improve the energy efficiency and reduce the greenhouse gas emissions of a university campus", Yüksek Lisans Tezi, İzmir Ekonomi Üniversitesi.

Tuna Taygun, G., (2005), "Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

UNEP, (2013), "Greening Universities Toolkit: Transforming Universities into Green Campuses".

Unger, N., Beigl, P., Wassermann, G., (2004), "General requirements for LCA software tools", Institute of Waste Management, BOKU–University of Natural Resources and Applied Life Sciences.

Wafa, W., Sharaai, A. H., Matthew, N. K., Ho, S. A. J., & Akhundzada, N. A. (2022), "Organizational life cycle sustainability assessment (OLCSA) for a higher education institution as an organization: a systematic review and bibliometric analysis", Sustainability, 14(5), 2616.

Web 1, (2025), <https://www.hhc.earth/knowledge-base/guides/lca-life-cycle-assessment>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 2, (2025), <https://theenvironmentconsultant.com/2025/03/13/history-of-environmental-and-social-impact-assessments/>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 3, (2025), <https://sea2see.eu/general-overview-of-life-cycle-assessment-lca-in-the-industry-origin-uses-and-applications/>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 4, (2025), <https://www.globalcadataaccess.org/>, (Erişim Tarihi: 20/02/2025).

Web 5, (2025), <https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/documentation/database/>, (Erişim Tarihi: 13/01/2025).

Web 6, (2025), <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015256560-What-is-an-EPD->, (Erişim Tarihi: 13/01/2025).

Web 7, (2025), <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015064399-Databases-available-in-One-Click-LCA>, (Erişim Tarihi: 13/01/2025).

Web 8, (2025), <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015036980-Impact-Assessment-Categories-CML-TRACI-and-PEF->, (Erişim Tarihi: 13/01/2025).

Web 9, (2025), <https://www.oneclicklca.com/>, (Erişim Tarihi: 13/01/2025).

Web 10, (2025), <https://www.gtu.edu.tr/kategori/17/0/display.aspx>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 11, (2025), https://tr.wikipedia.org/wiki/Gebze_Teknik_%C3%9Cniversitesi#cite_note-gy-5, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 12, (2025), <https://www.gtu.edu.tr/kategori/973/0/display.aspx>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 13, (2025), <https://www.gtu.edu.tr/>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 14, (2025), <https://www.gtu.edu.tr/kategori/6080/3/display.aspx>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 15, (2025), <https://www.gurbuz-as.com/portfolio/gtu-kimya-bolumu-bilimsel-arastirma-binasi/>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 16, (2025), <https://www.gtu.edu.tr/kategori/1208/0/display.aspx>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 17, (2025), <https://www.gtu.edu.tr/kategori/6080/3/display.aspx>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Web 18, (2025), <https://knowledge.sdialliance.org/111efc5c58538044b1fac1c3e431d1ed#112efc5c585380f594eec9191921e89a>, (Erişim Tarihi: 23/06/2025).

Wong, J. K. W., Zhou, J., (2015), "Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review", Automation in construction, 57, 156-165.

Xue, Z., Liu, H., Zhang, Q., Wang, J., Fan, J., Zhou, X., (2019), "The impact assessment of campus buildings based on a life cycle assessment–life cycle cost integrated model", Sustainability, 12(1), 294.

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.

Yüksel Kas, H., (2023), "Yapıların Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesinde Malzeme Seçiminin Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

Büşra AVİNÇ, İstanbul Okan Üniversitesi Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü 2020 yılında yüksek onur derecesiyle başarıyla tamamlamıştır. 2022 yılından beri yüksek lisans eğitimini Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında sürdürmektedir. Bir inşaat firmasının merkez ofisinde Mimar olarak çalışmaktadır.



TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Avinç B., Karaman Öztaş S., (2025), “Yaşam Döngüsü Değerlendirme Araçlarının Karşılaştırmalı Analizi ve “One Click LCA” Aracı”, 9. GTÜ Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 26-27 Mayıs. (Sözlü Sunum olarak gerçekleştirilmiştir.)



EKLER

Ek-A: One Click LCA aracında seçilen malzemeler ve miktarları.

Tablo A1.1: Çevre-Kimya I2 Blok Binası.

S.NO	POZ NO	İŞİN TANIMI	BİRİM	MİKTAR	Malzeme	One Click LCA Malzeme Açıklaması
1	15.140/1A	16-32 mm kırmataş temini ve serilmesi	m ³	367,66	Kırmataş	Crushed stone, grain size 16/32, (16-32 mm), EN15804+A1, ref. year 2017
2	15.140/4A	Tuvenan kum çakıl temini,makine ile serme sulama ve sıkıştırılması	kg	799.969,00	Tuvenan kum çakıl	Natural gravel and sand (Grunnar Holth Grusforretning, Laugslet plant)
3	15.140/5A	Tuvenan kum çakıl temini,el ile serme sulama ve sıkıştırılması	kg	66.300,00	Tuvenan kum çakıl	Natural gravel and sand (Grunnar Holth Grusforretning, Laugslet plant)
4	15.140/8	Çakıl ile drenaj yapılması	kg	822.628,80	Çakıl	Gravel, dry bulk density, 1680 kg/m ³ (One Click LCA)
5	15.346/A	Temel Tabanına Ocak Taşı İle Filtre Malzemesi Serilmesi ve Sıkıştırılması	kg	1.599.958,40	Ocak taşı İle filtre malzemesi	Crushed rock, 0-16 mm, 0-32 mm, 0-63 mm, 0-90 mm, 16-32 mm and 32-64mm, 2500-3000 kg/m ³ for solid rock, 1400-1700 kg/m ³ for crushed rock (Skanska)
6	16.002/MK/ 16.003/MK	200 dozlu demirsiz beton/ 250 dozlu demirsiz beton	kg	1.529.880,00	Kum	Sand (One Click LCA)
			kg	2.366.726,40	Çakıl	Washed gravel, 0-16, 0-2, 2-8, 8-16 (Colas Danmark A/S - Grusgravsprodukter)
			ton	452,59	Çimento	Portland cement, CEM I, 92.2% clinker, 1.5% limestone, 4.9% calcium sulfate, 1.4% others (CEMBUREAU)
7	16.057/1A	BS.16, Satın alınan ve beton pompasıyla basılan hazır beton (nakliyesi dahil)	m ³	42,00	Hazır beton	Ready-mix concrete, generic, C16/20 (2320/2900 PSI), XC1, 0% recycled binders, CEM I Portland cement, 2369 kg/m ³ (One Click LCA)
8	16.058/1A	BS.20, Satın alınan ve beton pompasıyla basılan hazır beton (nakliyesi dahil)	m ³	3.948,00	Hazır beton	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C20/25 (2900/3600 PSI), S1 XC0/XC1, 0% recycled binders in cement (min cem. content: 280 kg/m ³ / 14.98 lbs/ft ³), Portland cement CEM I 42.5 (One Click LCA (2024))

Tablo A1.1: Devam.

9	16.059/A	Satın alınan ve beton pompasıyla basılan, basınç dayanım sınıfı C 25/30 (BS 25) olan hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	5.707,00	Hazır beton	Ready-mix concrete, generic, C25/30 (3625/4350 PSI), XC1, 0% fly ash, CEM I Portland cement, 2378 kg/m ³ (One Click LCA)
10	18.096/A	32.5 cm yüksekliğinde poliüretan sert köpük (asmolen döşeme) blokları döşenmesi	kg	36.554,70	Poliüretan asmolen blok	Polyurethane insulation, 0.025-0.027 W/mK, 20-300 x max. 5000 x max. 1250 mm, 33 kg/m ³ (IVPU)
11	18.111/04	Hafif gaz beton tutkalı ile 10 cm kalınlığındaki techizatsız hafif gaz beton duvar blokları (G2 sınıfı) ile duvar yapılması	m ²	227,26	Gaz beton blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)
12	18.111/ 07	Hafif gaz beton tutkalı ile 15 cm kalınlığındaki techizatsız hafif gaz beton duvar blokları (G2 sınıfı) ile duvar yapılması	m ²	4.315,90	Gaz beton blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)
13	18.111/ 11	Hafif gaz beton tutkalı ile 20 cm kalınlığındaki techizatsız hafif gaz beton duvar blokları (G2 sınıfı) ile duvar yapılması	m ²	7.971,14	Gaz beton blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)
14	18.111/ 14	Hafif gaz beton tutkalı ile 30 cm kalınlığındaki techizatsız hafif gaz beton duvar blokları (G2 sınıfı) ile duvar yapılması	m ²	204,48	Gaz beton blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)
15	18.140/A1	Alçı duvar levhaları ile çift iskeletli askı sistemli asma tavan yapılması (12,5 mm tek kat alçı duvar levhası ile)	m ²	3.746,00	Alçıpan	Gypsum plaster board, fire-resistant, 12.5 mm, 10 kg/m ² , 800 kg/m ³ , Yangına Dayanıklı Alçıpan (FR) Type HF (Knauf),
			m ²	3.746,00	Metal çerçeve elemanları	Metal framing components for gypsum plasterboard, carrier (C) and non-carrier (U) types, thickness: 0.4-0.6 to 0.5 - 2.0 mm, 7850 kg/m ³ (UMS)
16	18.140/B1	Suya dayanıklı alçı duvar levhaları ile çift iskeletli askı sistemli asma tavan yapılması (12,5 mm tek kat alçı duvar levhası ile)	m ²	167,00	Alçıpan	Gypsum plaster board, moisture and fire-resistant, 12.5 mm, 10 kg/m ² , 800 kg/m ³ , Suya ve Yangına Dayanıklı Alçıpan (WRFR) Type F (Knauf)
			m ²	167,00	Metal çerçeve elemanları	Metal framing components for gypsum plasterboard, carrier (C) and non-carrier (U) types, thickness: 0.4-0.6 to 0.5 - 2.0 mm, 7850 kg/m ³ (UMS)
17	18.470	Geotekstil keçe serilmesi (250 gr/m ²)	m ²	14.536,88	Geotekstil keçe	Geotextile, generic, 312 g/m ² (1.02 oz/ft ²), Composition: PP net, non-woven PE felt (One Click LCA)

Tablo A1.1: Devam.

18	19.053	5 cm kalınlığında yüzeyi düzgün XPS Köpük ısı yalıtım levhaları ile bodrum perdelerinde ısı yalıtımı yapılması (Yoğunluğu min 30 kg/m ³ ve 300 kpa basınç dayanımlı)	m ²	849,60	5 cm XPS	Insulation, XPS, L = 0.035 W/mK, T: 40-60 mm, 24.2 kg/m ³ , PRM (ODE Yalıtım Sanayi)
19	19.053/2A	Zemine oturan döşemelerde 5 cm kalınlıkta extrüde polistren köpük (XPS) ile ısı yalıtımı yapılması (yoğunluğu min 30 kg/m ³ ve 200 kpa basınç dayanımlı)	m ²	4.595,76	5 cm XPS	XPS insulation panels, L=0.033 W/mK, R=1.2 m ² K/W, 40 mm, 1.25 kg/m ² , 31.25 kg/m ³ , compressive strength 300 kPa, CO ₂ blowing agent, Lambda=0.033 W/(m.K) (One Click LCA)
20	19.053/5A	5 cm taşyünü ısı yalıtım levhaları ile dış duvarda ısı yalıtımı yapılması	m ²	3.075,11	5 cm taşyünü	Stone wool insulation panels, uncoated, L=0.035 W/mK, R=1.4m ² K/W, 50mm, 2.5 kg/m ² , 50 kg/m ³ , Lambda=0.035 W/(m.K), Airock ND (Rockwool Adriatic)
21	19.055/B	5 cm kalınlıkta ekspande polistren (EPS) köpük ısı yalıtım levhaları ile dış duvarların dıştan ısı yalıtımı ve ısı yalıtım sıvası yapılması (mantolama) (16 kg/m ³ yoğunluğunda)	m ²	6.354,10	EPS köpük ısı yalıtım levhaları	EPS insulation panels, L= 0.038 m ² K/W, R=1 m ² K/W, 38 mm (10-200 mm range), 600 x 1200mm, 0.6555 kg/m ² , 17.25 kg/m ³ , compressive strength class 100 kN/m ² , Lambda=0.038 W/(m.K), EPS 100 (EPS Sverige (BeWi Insulation, Jackson, Sundolitt))
			kg	25.416,40	Yalıtım levhaları için yapıştırıcı harcı	Cement-based polymer-modified adhesive mortar for insulation boards, 1300 kg/m ³ , SWA (Smart Insulation Finishing Systems LLC)
			kg	31.770,50	Isı yalıtım sıvası	Fiber-reinforced dry mortar, binder 10-30%, aggregate 60-90%, filler 5-10%, webertherm 340 underlagsbruk / webertherm 343 basbruk (Weber)
22	22.001/A1	Lamine levha kaplamalı İç Kapılara Ait MDF Lam Kasa ve Pervaz Yapılması ve Yerine Konulması	m ²	382,32	MDF kasa ve pervaz	Wooden frameset for doors, 1.044x2.088 m, 6.655 kg/m ² (JELD-WEN)
23	22.009/3C1	Lamine levha kaplamalı iki yüzü 8 MM MDF levhalarla presli, kraft dolgulu iç kapı kanadı yapılması, yerine takılması	m ²	432,60	MDF kapı kanadı	Interior wooden door with solid core, 60 mm, 37.9 kg/m ² , Solid Core Door EI30/BD30/Rw40/40dB/RC1-RC2/Sa/S200/Climate C - RU; Solid Core Door EI30/BD30/Rw40/40dB RC1-RC2/Sa/S200/Climate C - RL; Solid Core Door EI60/BD60/Rw40/40dB RC1-RC2/Sa/S200/Climate C - RLS (JELD-WEN)

Tablo A1.1: Devam.

24	23.010	Nervürlü hasır çeliğin (1.50-3.00 kg/m ²) yerine konulması	ton	1,32	Nervürlü hasır çelik	Reinforcement steel (rebar), generic, 0% recycled content (One Click LCA)
25	23.014	8-12 mm'lik ince nervürlü çeliğin bükülmesi, yerine konulması	ton	310,51	8-12 mm'lik ince nervürlü çelik	Reinforcement steel bars (Saudi National Steel Factory Co.)
26	23.015	14-28 mm'lik kalın nervürlü çeliğin bükülmesi ve yerine konulması	ton	748,00	14-28 mm'lik kalın nervürlü çelik	Reinforcement steel bars (Saudi National Steel Factory Co.)
27	23.111	Demir kapı yapılması	kg	762,08	Demir kapı	Hot rolled pickled steel plate and strip (Baoshan Iron & Steel)
28	23.176	Çeşitli demir işleri yapılması ve yerine konulması	kg	15.991,33	Demir	Hot rolled pickled steel plate and strip (Baoshan Iron & Steel)
30	23.242/2	Alüminyum köşe profili yapılması (Alçı sıva köşe birleşim)	kg	819,13	Alüminyum köşe profili	Aluminium, 2700 kg/m ³ , LEC (Tate)
31	23.243/20	60*60 ebadında 0,70 mm kalınlığında minimum 20 mikron elektrostatik toz boyalı (polyester esaslı) delikli alüminyum plakadan (En AW 3000 serisi) gizli taşıyıcı sistem asma tavan yapılması	m ²	3.578,74	Gizli taşıyıcı alüminyum asma tavan	Aluminium ceiling system, perforated, 2.79 kg/m ² , Bandeja Sicilia CLIP-IN (THU)
32	23.244/A1	Isı yalıtımsız alüminyum doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması	kg	13.010,90	Alüminyum doğrama	Aluminum profile for windows and doors, powder coated, 2600 kg/m ³ , Coated Al Profile (Saray)
33	23.244/F1	Isı yalıtımlı alüminyum doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması	kg	8.510,58	Alüminyum doğrama	Aluminum profile for windows and doors, powder coated, 2600 kg/m ³ , Coated Al Profile (Saray)
34	25.015/1	Demir imalatın bir kat antipas, iki kat sentetik boya ile boyanması	m ²	1.171,89	Demir İmalatın boyanması	Waterborne epoxy coating, for carbon steel and galvanized steel, 2.5 kg/l, wet film thickness: 90-160 µm, theoretical spreading rate: 11.2-6.2 m ² /l, WaterFine Barrier (Jotun)
35	25.036/1	Akrilik esaslı dış cephe boyası yapılması	kg	1.274,07	Akrilik son kat boya	Acrylic topcoat paint for exterior, 1410 kg/m ³ , spreading rate = 14.27 - 8.56 m ² /l, Jotashield Real Matt (Jotun A/S)
			kg	637,03	Su bazlı akrilik astar	Water-based acrylic primer, 1.21 g/cm ³ , 8-10.7 m ² /l, dry film thickness 30-40 µm, Jotashield Primer (Jotun, plant Indonesia)

Tablo A1.1: Devam.

36	25.048/3	Saten alçılı yüzeylere astar çekilerek iki kat yarımast su bazlı plastik boya yapılması	m ²	25.996,65	Su bazlı iç cephe boyası	Water based interior wall paint, solids by volume: 39%, spreading rate: 14.95 - 10.7 m ² /l, 1300 kg/m ³ , Fenomastic Zen (Jotun A/S)
			m ²	25.996,65	Astar	Interior paint plasters, paste (SIPEV)
37	25.116/A3	2 mm kalınlıkta PVC esaslı yer döşeme malzemesi ile döşeme kaplaması yapılması (kamu kurum ve kuruluşların makam, personel odaları vb.) (homojen)(Grup P)	m ²	792,51	Homohen PVC döşeme kaplaması	Homogeneous PVC floor covering, 2 mm, 3.3 kg/m ² , Standard Plus 2.0 (Tarkett (2021))
38	26.008/045A	40x40 cm ebatında mat yüzeyli, muhtelif düz renklerde, sırsız porselen karolar ile fugalı döşeme kaplaması yapılması (fayans ve seramik yapıştırıcısı ile)	m ²	390,16	Seramik	Ceramic floor tiles (Kutahya Seramik)
			m ²	390,16	Seramik yapıştırma harcı	Mortar for laying ceramic tiles, average, Type C, 3,04 kg/m ² , 2.14 mm 1414 kg/m ³ (Mapei Spain, ParexGroup Morteros, Propamsa, Sika)
39	26.008/069-A1	60X60 cm Boyutunda Mat yüzeyli muhtelif düz renklerde sırsız porselen karolar ile fugalı döşeme kaplaması yapılması(fayans ve seramik yapıştırıcısı ile)	m ²	7.649,71	Seramik	Ceramic floor tiles (Kutahya Seramik)
			m ²	7.649,71	Seramik yapıştırma harcı	Mortar for laying ceramic tiles, average, Type C, 3,04 kg/m ² , 2.14 mm 1414 kg/m ³ (Mapei Spain, ParexGroup Morteros, Propamsa, Sika)
			kg	69.612,62	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	16,38	Çimento	Portland cement, CEM I, 92.2% clinker, 1.5% limestone, 4.9% calcium sulfate, 1.4% others (CEMBUREAU)
			m ²	1.637,94	Seramik	Ceramic wall tiles, 9 mm, 16.13 kg/m ² , 1792.2 kg/m ³ (Ege Seramik)
			kg	227.346,44	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	53,49	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
			m ²	3.343,33	Terrazo Karo Plak	Terrazzo slabs and tiles, 1-1/4 inch, 64 kg/m ² , Terrazzo Lumina, PIXA, Sensitile Terrazzo (Sensitile Systems)
40	26.082/MK	Her renk karo fayans ile fugalı duvar kaplaması yapılması	kg	69.612,62	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	16,38	Çimento	Portland cement, CEM I, 92.2% clinker, 1.5% limestone, 4.9% calcium sulfate, 1.4% others (CEMBUREAU)
			m ²	1.637,94	Seramik	Ceramic wall tiles, 9 mm, 16.13 kg/m ² , 1792.2 kg/m ³ (Ege Seramik)

Tablo A1.1: Devam.

41	26.502/MK	Terrazo Karo Plak (Suni mermer) ile İç Mekanlarda Döşeme Kaplaması Yapılması (Cilalı)(250x250 mm, 300x300 mm, 330x330 mm, vb.)Beyaz Çimentolu Tek Tabakalı	kg	227.346,44	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	53,49	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
			m ²	3.343,33	Terrazo Karo Plak	Terrazzo slabs and tiles, 1-1/4 inch, 64 kg/m ² , Terrazzo Lumina, PIXA, Sensitile Terrazzo (Sensitile Systems)
42	27.525/MK	Alçı sıva yapılması	kg	818.506,37	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	76,73	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
			kg	51.156,65	Söndürülmemiş parça kalker kireci	Quicklime
			kg	166.815,16	Saten alçı	Plaster, finishing for skimming, for interior use, 0.7l water/kg plaster, 8-30 mm, 690kg/m ³ bulk, Saten Perdah Alçısı (Rigips)
43	27.528	Alçı tavan sıvası yapılması	kg	7.106,85	Saten alçı	Plaster, finishing for skimming, for interior use, 0.7l water/kg plaster, 8-30 mm, 690kg/m ³ bulk, Saten Perdah Alçısı (Rigips)
44	27.528/3	İnce sıva, alçı sıvalı vb. yüzeyler üzerine 3 mm kalınlığında saten alçı kaplama yapılması	kg	45.375,75	Saten alçı	Plaster, finishing for skimming, for interior use, 0.7l water/kg plaster, 8-30 mm, 690kg/m ³ bulk, Saten Perdah Alçısı (Rigips)
45	27.530/İB1	Taş yünü asma tavan yapılması (Usg-donn,asmstrong vb fine fisüred tipi)	m ²	2.299,57	Taş yünü panel	Acoustic ceiling panel, 13 mm, 3.37 kg/m ² , Armstrong Solara 13mm (KNAUF CEILING SOLUTIONS)
			m	7.660,20	Galvanizli çelik profil	Galvanized steel profiles for suspended ceiling systems, H: 32-38mm, W: 24mm, 0.30 kg/m, 7850 kg/m ³ , T24 corridor profile (Saint Gobain Ecophon AB, Sweden plant (2024))
46	27.530/3	Dışta ve içte tamir gerektiren sıva veya çıplak beton yüzeylere çimento esaslı kuru karışım tamir ve düzeltme sıvası (ince) 2 mm kalınlıkta sıva yapılması	kg	2.604,00	Tamir ve düzeltme sıvası	Repair mortar, 1.75 kg/m ² , 0.86 mm, 2033 kg/m ³ (Cementos Capa)
47	27.531/ MK	Kireç-çimento karışımı harçla düz sıva yapılması	kg	272.764,22	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	42,62	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
			kg	8.523,88	söndürülmemiş kireç	Quicklime

Tablo A1.1: Devam.

48	27.535/ MK	tavan sıvası yapılmasıKireç-çimento karışımı harçla	kg	10.463,60	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	0,60	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
			kg	196,19	Söndürülmemiş kireç	Quicklime
49	27.560/1	duvarların astarlanmasıSilikon esaslı koruyucu ile	kg	474,52	Silikon esaslı koruyucu astar	Primer paint for walls, 1.3kg/l, 6 m2/l, Wall Primer Perform (Flügger Group A/S)
50	27.560/2	Polyester (yağ esaslı) elyafı kalın hazır sıva ile duvarların kaplanması	kg	2.467,52	Hazır sıva	Cementitious plaster, fiber reinforced, 1 mm, 1.6 kg/m², weberpremix SP-11 (Weber)
			kg	569,43	Solvent	Butyl acetate, 880 kg/m³ (Adokim)
51	27.581/ MK	200 kg çimento dozlu tesviye tabakası yapılması	kg	251.953,52	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	31,49	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
52	27.581/AMK	200 dozlu çimento harçla tesviye tabakası yapılması (5 cm yükseklikte)	kg	969.482,53	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	121,19	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
53	27.583 /MK	2,5 cm kalınlığında 400 kg çimento dozlu şap yapılması	kg	387.667,20	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	96,92	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
54	28.134/A1	5+5 mm camlı 0,38 mm pvb'li şeffaf lamine cam takılması	m²	715,30	5+5 mm camlı 0,38 mm pvb'li şeffaf lamine cam	Double glazing, 10 mm, 25,7 kg/m² (SCHOTT)
55	28.134/C	Madeni konstrüksiyonlara profil veya madeni çita ile 4+6 mm kalınlıkta 12 mm ara boşluklu ısı kontrol kaplamalı çift cam takılması	m²	241,40	4+6 mm camlı, 12 mm ara boşluklu çitallı ısı kontrol kaplamalı yalıtım camları	Double glazing, 10 mm, 25,7 kg/m² (SCHOTT)
56	MSB.608/A	250 Kg Çimento Dozlu Harçla 2 cm Kalınlığında Dış Cephe Kaba Sıva Yapılması	kg	103.139,29	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	16,12	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
			ton	4,90	Sönmüş toz kireç	Hydrated lime, calcium hydroxide Ca(OH)₂ (Franzefoss Minerals AS)
57	MSB.805/A	Paslanmaz Çelik Merdiven Korkuluğu ve Küşesi Yapılması	kg	3.196,00	paslanmaz çelik çubuk	Stainless steel long products, 7700-8100 kg/m³ (Outokumpu)
58	MSB.922/A1	12 mm compact laminant ile bölme panosu yapılması	m²	128,93	12 mm compact laminant levha	High pressure laminate (HPL) board, for wall application, 8 mm, 11.2 kg/m², 1394 kg/m³
59	ÖZEL-01	Mekanik askılı porselen seramik cephe kaplaması yapılması (PARLAK SAFRAN)	m²	2.028,47	Seramik	Ceramic façade cladding, 67.07 kg/m², 2050 - 2200 kg/m³, TERRART (NBK)

Tablo A1.1: Devam.

60	ÖZEL-02	Mekanik askılı porselen seramik cephe kaplaması yapılması (PARLAK BEYAZ)	m ²	774,23	Seramik	Ceramic façade cladding, 67.07 kg/m ² , 2050 - 2200 kg/m ³ , TERRART (NBK)
61	ÖZEL-03	Mekanik askılı alüminyum kompozit panellerle cephe kaplaması yapılması	m ²	422,00	alüminyum kompozit panel	Aluminum composite panel, curtain walling/facade, mineral filled, 4 mm, 7.1 kg/m ² , B1 (Saray)
62	ÖZEL-05	Kapaklı Sistem Giydirme Cephe İmalatı ve Montajı (6+12+6 mm reflekte temperli cam dahil)	m ²	2.435,00	Kapaklı Alüminyum Giydirme Cephe	Aluminium framed unitized curtain wall system with tempered glass insulating unit, double glazed, 4-16-4, 50.3 kg/m ² , 0% recycled aluminium (One Click LCA)
63	ÖZEL-11	Yüzey sertleştiricili katkı şap yapılması	kg	4.310,00	Yüzey sertleştiricili katkı şap	Epoxy floor coating, 10-20 mm, 1400 kg/m ³ , 60 MPa, weberfloor epocoat (weber UAE)
64	ÖZEL-12	2*30*60 cm Yakılmış Doğal Granit Döşeme Kaplaması Yapılması (aksaray yaylak +african red)	kg	31.040,50	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	9,13	Çimento	Portland cement, CEM I, 92.2% clinker, 1.5% limestone, 4.9% calcium sulfate, 1.4% others (CEMBUREAU)
			m ²	829,96	Seramik	Ceramic floor tiles (Kutahya Seramik)
65	ÖZEL-12A	2*60*60 Doğal Granit (aksaray yaylak) Döşeme Kaplaması Yapılması	kg	2.463,91	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	0,72	Çimento	Portland cement, CEM I, 92.2% clinker, 1.5% limestone, 4.9% calcium sulfate, 1.4% others (CEMBUREAU)
			m ²	65,88	Seramik	Ceramic floor tiles (Kutahya Seramik)
66	ÖZEL-17	Çift Komponentli Bitüm Esaslı Çift Kat Fileli Sürme İzolasyon Yapılması	m ²	11.246,20	Çift Komponentli Bitüm Esaslı Su Yalıtımı	Bituminous waterproofing system, double-layer, 5-6.5mm, 7.66kg/m ² (moyenne), 1100-1700kg/m ³ (Chambre Syndicale Française de l'Étanchéité)
67	ÖZEL-18	Sıcak daldırma galvaniz (30x50 mm) profillerle konstrüksiyon yapılması	kg	9.124,00	Galvanizli çelik profil	Galvanized steel profile for partition systems, 0.39-2.90 kg/m (Favor As)
68	ÖZEL-21	Yangın Kapısı Yapılması	adet	10,00	Yangın kapısı	Steel door with mineral wool core, per unit, 3 x 7 x 1.75 in, 62.65 kg/unit, 727 Series Temperature Rise Door (Assa Abloy)
69	ÖZEL-23	Madeni konstrüksiyona 6+12+6 mm ısı kontrol kaplamalı reflekte temperli çift cam takılması	m ²	339,20	6+12+6 mm ısı kontrol kaplamalı reflekte temperli çift cam	Fire-resistant Insulating Glass Unit (IGU), double glazed, 6 -12 -6, 24 mm, 30 kg/m ² , PYROSWISS 30 DGU: PY6-12-PY6 (VETROTECH)

Tablo A1.1: Devam.

70	ÖZEL-25	Çimento esaslı çift komponentli esnek su yalıtımı	kg	698,36	Çimento esaslı çift komponentli esnek su yalıtımı	Water based cementitious coat for waterproofing system, Concentrate (Xypex Australia)
71	ÖZEL-26	Karo Lüks Vinil Hetorejen PVC zemin kaplaması yapılması	m ²	1.459,88	Hetorejen PVC zemin kaplaması	Heterogeneous vinyl flooring, 3 mm, 2.2 kg/m ² , TX Habitat (Tarkett)
72	ÖZEL-27	2,5 mm kalınlığında self levelling şap yapılması	m ³	6,00	Self levelling	Screed, self-leveling, 1080 kg/m ³ , Dalsan (FLOORTEK)

Tablo A1.2: Malzeme Mühendisliği H2 Blok Binası.

S.NO	POZ NO	İŞİN TANIMI	BİRİM	MİKTAR	Malzeme	One Click LCA Malzeme Açıklaması
1	15.140/1A	Kırmataş temini ve el ile serilmesi	m ³	2.595,67	Kırmataş	Crushed stone, grain size 16/32, (16-32 mm), EN15804+A1, ref. year 2017
2	15.140/4A	Tuvenan kum çakıl temini,makine ile serme sulama ve sıkıştırılması	kg	2.471.907,10	Tuvenan kum çakıl	Natural gravel and sand (Grunnar Holth Grusforretning, Laugslet plant)
3	15.140/İB-6C	Kırmataş dolgu yapılması	kg	3.911.880,20	Kırmataş	Crushed rock, 0-16 mm, 0-32 mm, 0-63 mm, 0-90 mm, 16-32 mm and 32-64mm, 2500-3000 kg/m ³ for solid rock, 1400-1700 kg/m ³ for crushed rock (Skanska)
4	16002/16.003/16.004	200 dozlu demirsiz beton/ 250 dozlu demirsiz beton/ 300 dozlu demirsiz beton	kg	836.173,60	Kum	Sand (One Click LCA)
			kg	1.274.866,81	Çakıl	Washed gravel, 0-16, 0-2, 2-8, 8-16 (Colas Danmark A/S - Grusgravsprodukter)
			ton	268,29	Çimento	Portland cement, CEM I, 92.2% clinker, 1.5% limestone, 4.9% calcium sulfate, 1.4% others (CEMBUREAU)
5	16.057/1A	BS.16, Satın alınan ve beton pompasıyla basılan hazır beton	m ³	3,32	Hazır Beton	Ready-mix concrete, generic, C16/20 (2320/2900 PSI), XC1, 0% recycled binders, CEM I Portland cement, 2369 kg/m ³ (One Click LCA)
6	16.059/01	BS.25 (B.300 betonu), Satın alınan ve beton pompasıyla basılan hazır beton	m ³	7.571,07	Hazır Beton	Ready-mix concrete, generic, C25/30 (3625/4350 PSI), XC1, 0% fly ash, CEM I Portland cement, 2378 kg/m ³ (One Click LCA)
7	17.175/MK	Prefabrik beton bordür yapılması ve yerine döşenmesi	m	165,16	Beton bordür	Precast concrete curb with grouting mortar, 81.8 kg/m (CENTRE D'ETUDES ET DE RECHERCHES DE L'INDUSTRIE DU BÉTON)
8	18.071/1	Yatay delikli (19x19x8,5 cm) boyutlarında fabrika tuğlası ile yarım tuğla duvar yapılması (10.004 harcı ile)	m ³	5.718,02	Yatay delikli fabrika tuğlası	Hollow clay bricks, 677 kg/m ³ (Ceranor)
			ton	150,00	Çimento	Portland cement, Poland average, CEM I (Polish Cement Association)
			kg	963.035,12	Kum	Sand (One Click LCA)
9	18.112	10 cm Kalınlıkta hafif gaz beton bloklarla özel tutkalı duvar yapılması	m ²	287,16	Gaz beton blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)
10	18.114	15 cm Kalınlıkta hafif gaz beton bloklarla özel tutkalı duvar yapılması	m ²	3.039,12	Gaz beton blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)

Tablo A1.2: Devam.

11	18.116	20 cm Kalınlıkta hafif gaz beton bloklarla özel tutkalı duvar yapılması	m ²	5.208,14	Gaz beton blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)
12	18.118	25 cm Kalınlıkta hafif gaz beton bloklarla özel tutkalı duvar yapılması	m ²	721,65	Gaz beton blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)
13	18.140/A1	Alçıpan asma tavan suya ve yangına dayanıklı	m ²	4.052,35	Alçıpan	Gypsum plaster board, fire-resistant, 12.5 mm, 10 kg/m ² , 800 kg/m ³ , Yangına Dayanıklı Alçıpan (FR) Type HF (Knauf)
			m ²	4.052,35	Metal çerçeve elemanları	Metal framing components for gypsum plasterboard, carrier (C) and non-carrier (U) types, thickness: 0.4-0.6 to 0.5 - 2.0 mm, 7850 kg/m ³ (UMS)
14	18.140/B1	Alçıpan asma tavan suya ve yangına dayanıklı	m ²	152,89	Alçıpan	Gypsum plaster board, moisture and fire-resistant, 12.5 mm, 10 kg/m ² , 800 kg/m ³ , Suya ve Yangına Dayanıklı Alçıpan (WRFR) Type F (Knauf)
			m ²	152,89	Metal çerçeve elemanları	Metal framing components for gypsum plasterboard, carrier (C) and non-carrier (U) types, thickness: 0.4-0.6 to 0.5 - 2.0 mm, 7850 kg/m ³ (UMS)
15	18.329	Gazbeton asmolen blokları ile asmolen döşeme yapılması	m ³	2.237,83	Gazbeton asmolen blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)
16	18.465/2	İki katlı su yalıtımı yapılması, elastomer esaslı (-15) cam tülü taşıyıcı	m ²	5.423,00	Elastomer esaslı su yalıtımı	Bituminous waterproofing system, double-layer, 5-6.5mm, 7.66kg/m ² (moyenne), 1100-1700kg/m ³ (Chambre Syndicale Française de l'Etanchéité)
17	18.470	Geotekstil keçe serilmesi (250 gr/m ²)	m ²	6.230,57	Geotekstil keçe	Geotextile, generic, 312 g/m ² (1.02 oz/ft ²), Composition: PP net, non-woven PE felt (One Click LCA)
18	19.053/1A	5cm XPS köpük levhalarla ile ısı yalıtımı yapılması	m ²	603,76	5 cm XPS	Insulation, XPS, L = 0.035 W/mK, T: 40-60 mm, 24.2 kg/m ³ , PRM (ODE Yalıtım Sanayi)
19	19.053/2A	Teras Döşemesinde 5cm XPS İle Isı Yalıtımı Yapılması	m ²	2.709,84	5 cm XPS	XPS insulation panels, L=0.033 W/mK, R=1.2 m ² K/W, 40 mm, 1.25 kg/m ² , 31.25 kg/m ³ , compressive strength 300 kPa, CO ₂ blowing agent, Lambda=0.033 W/(m.K) (One Click LCA)
20	19.053/5A	5cm taşıyıcı ısı yalıtım levhaları ile dış duvarada ısı yalıtımı yapılması	m ²	448,80	5 cm taşıyıcı	Stone wool insulation panels, uncoated, L=0.035 W/mK, R=1.4m ² k/W, 50mm, 2.5 kg/m ² , 50 kg/m ³ , Lambda=0.035 W/(m.K), Airrock ND (Rockwool Adriatic)
21	19.055/B	5 cm kalınlıkta ekspande polistren (EPS) köpük ısı yalıtım levhaları ile dış duvarların dıştan ısı yalıtımı ve ısı yalıtım sıvası yapılması (mantolama)	m ²	7.882,54	EPS köpük ısı yalıtım levhaları	EPS insulation panels, L= 0.038 m ² K/W, R=1 m ² K/W, 38 mm (10-200 mm range), 600 x 1200mm, 0.6555 kg/m ² , 17.25 kg/m ³ , compressive strength class 100 kN/m ² , Lambda=0.038 W/(m.K), EPS 100 (EPS Sverige (BeWi Insulation, Jackson, Sundolitt))
			kg	31.530,14	Yalıtım levhaları için yapıştırıcı harcı	Cement-based polymer-modified adhesive mortar for insulation boards, 1300 kg/m ³ , SWA (Smart Insulation Finishing Systems LLC)
			kg	39.412,70	Isı yalıtım sıvası	Fiber-reinforced dry mortar, binder 10-30%, aggregate 60-90%, filler 5-10%, webertherm 340 underlagsbruk / webertherm 343 basbruk (Weber)
22	19.082/1	Yatayda reçine esaslı sıvı plastik kaplama ile yalıtım (1,2 mm)	m ²	3.163,23	Sıvı su yalıtımı	Liquid applied roof waterproofing system, polyurethane based, multi-layered, 1.5mm, 1.42 kg/L, Sika Decothane (Sika)

Tablo A1.2: Devam.

23	21.012/A	h=18mm çimentolu yonga levha ile çelik konstrüksiyona kaplama yapılması	m ²	70,59	Çimentolu yonga levha	Cement bonded particle board, 8-32 mm, 10.8-43.2 kg/m ² , 1350 kg/m ³ (VIROC)
24	22.001/A	Lamine levha kaplamalı iç kapılara ait masif kasa ve pervaz yapılması yerine takılması	m ²	419,20	Ahşap kasa ve pervaz	Wooden frameset for doors, 1.044x2.088 m, 6.655 kg/m ² (JELD-WEN)
25	22.009/3A1	Lamine levha kaplamalı iki yüzü masif levhali iç kapı kanadı yapılması ve yerine takılması	m ²	508,32	Ahşap iç kapı kanadı	Interior wooden door with solid core, 60 mm, 37.9 kg/m ² , Solid Core Door EI30/BD30/Rw40/40dB/RC1-RC2/Sa/S200/Climate C - RU; Solid Core Door EI30/BD30/R w40/40dB RC1-RC2/Sa/S200/Climate C - RL; Solid Core Door EI60/BD60/R w40/40dB RC1-RC2/Sa/S200/Climate C - RLS (JELD-WEN)
26	23.014	8-12 mm'lik ince nervürlü çeliğin bükülmesi, yerine konulması	ton	265,29	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu	Reinforcement steel bars (Saudi National Steel Factory Co.)
27	23.015	14-28 mm'lik kalın nervürlü çeliğin bükülmesi ve yerine konulması	ton	664,86	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu	Reinforcement steel bars (Saudi National Steel Factory Co.)
28	23.152	Kare dikdörtgen profillerle kapı pencere yapılması	kg	5.274,84	Demir	Hot rolled pickled steel plate and strip (Baoshan Iron & Steel)
29	23.242/2	Alüminyum köşe profili yapılması	kg	338,01	Alüminyum köşe profili	Aluminium, 2700 kg/m ³ , LEC (Tate)
30	23.244/E1	Isı yalıtımsız alüminyum doğrama imali (naturel-mat eloksallı)	kg	2.969,06	Alüminyum doğrama	Aluminum profile for windows and doors, powder coated, 2600 kg/m ³ , Coated Al Profile (Saray)
31	23.244/L1	Isı yalıtımlı alüminyum doğrama imali (naturel-mat eloksallı)	kg	11.256,60	Alüminyum doğrama	Aluminum profile for windows and doors, powder coated, 2600 kg/m ³ , Coated Al Profile (Saray)
32	25.048/1B	Yeni sıva yüzeylerine 1,25 kg macun çekilerek iki kat plastik badana yapılması	m ²	6.959,11	Macun-Astar	Interior paint plasters, paste (SIPEV)
			m ²	6.959,11	İki kat plastik badana	Interior paint, 7.5 m ² /L double coat, 1.40 kg/L, Natura Ambians (Polisan)
33	25.048/9A	Yeni sıvalı yüzeylere astar uygulanarak iki kat yarı mat antibakteriyel su bazlı boya yapılması	m ²	15.033,00	Astar	Interior paint plasters, paste (SIPEV)
			m ²	15.033,00	Su bazlı iç cephe boyası	Water based interior wall paint, solids by volume: 39%, spreading rate: 14.95 - 10.7 m ² /l, 1300 kg/m ³ , Fenomastic Zen (Jotun A/S)
34	26.082	Her renk karo fayans ile fugalı duvar kaplaması yapılması	m ²	1.192,12	Seramik karo	Ceramic wall tiles, 9 mm, 16.13 kg/m ² , 1792.2 kg/m ³ (Ege Seramik)
			kg	50.665,23	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	11,92	Çimento	Portland cement, Poland average, CEM I (Polish Cement Association)

Tablo A1.2: Devam.

35	26.191/1M K	Düz renkli sırlı gre seramik karolarla fugalı döşeme kaplaması yapılması	m ²	327,13	Sırlı gre seramik karo	Glazed porcelain tiles, 10 mm, 22.21 kg/m ² , 2220.5 kg/m ³ (Ege Seramik)
			kg	12.234,77	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	3,60	Çimento	Portland cement, Poland average, CEM I (Polish Cement Association)
36	26.502	Suni mermer döşeme kaplaması yapılması	m ³	1.992,47	Terrazo Karo Plak	Terrazzo slabs and tiles, 1-1/4 inch, 64 kg/m ² , Terrazzo Lumina, PIXA, Sensitile Terrazzo (Sensitile Systems)
			kg	135.487,82	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	31,88	Çimento	Portland cement, Poland average, CEM I (Polish Cement Association)
37	26.622/A	Renkli mermer ile merdiven basamağı kaplaması (basamak 3 cm, rıht 2 cm kalınlıkta) yapılması	m	336,00	Mermer	Marble floor tile, 18 mm , 48.6 kg/m ² (One Click LCA)
38	26.701	Beyaz mermer ile dış denizlik yapılması	m ²	219,52	Mermer	Marble floor tile, 18 mm , 48.6 kg/m ² (One Click LCA)
39	27.525	Alçı sıva yapılması	kg	658.653,61	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	61,75	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
			kg	41.165,85	Söndürölmemiş parça kalker kireci	Quicklime
			kg	134.236,47	Saten alçı	Plaster, finishing for skimming, for interior use, 0.71 water/kg plaster, 8-30 mm, 690kg/m ³ bulk, Saten Perdah Alçısı (Rigips)
40	27.528/3	Çıplak beton, ince sıva, alçı sıvalı vb. yüzeylere saten alçı kaplama yapılması (3 mm)	kg	33.824,25	Saten alçı	Plaster, finishing for skimming, for interior use, 0.71 water/kg plaster, 8-30 mm, 690kg/m ³ bulk, Saten Perdah Alçısı (Rigips)
41	27.530/İB1	Taş yünü asma tavan yapılması (Usg-donn,asmstrong vb fine fisüred tipi)	m ²	6.419,16	Taş yünü panel	Acoustic ceiling panel, 13 mm, 3.37 kg/m ² , Armstrong Solara 13mm (KNAUF CEILING SOLUTIONS)
			m	21376,8	Galvanizli çelik profil	Galvanized steel profiles for suspended ceiling systems, H: 32-38mm, W: 24mm, 0.30 kg/m, 7850 kg/m ³ , T24 corridor profile (Saint Gobain Ecophon AB, Sweden plant (2024))
42	27.531	İç sıva yapılması	kg	175.383,33	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	27,40	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
			kg	5.480,73	söndürölmemiş kireç	Quicklime
43	27.535	Tavan sıvası yapılması	kg	155.876,64	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	28,25	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
			kg	2.922,69	söndürölmemiş kireç	Quicklime
44	27.560/1	Silikon esash koruyucu ile duvarların astarlanması	kg	735,29	Astar	Primer paint for walls, 1.3kg/l, 6 m ² /l, Wall Primer Perform (Flügger Group A/S)

Tablo A1.2: Devam.

45	27.560/2	Polyester elyaflı kalın hazır sıva ile duvarların kaplanması	kg	3.823,52	Polyester elyaflı kalın hazır sıva	Cementitious plaster, fiber reinforced, 1 mm, 1.6 kg/m ² , weberpremix SP-11 (Weber)
			kg	882,35	solvent	Butyl acetate, 880 kg/m ³ (Adokim)
46	27.581	200 dozluçimento harçla tesviye tabakası yapılması	kg	18.788,73	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	2,35	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
47	27.581/A	200 dozluçimento harçla tesviye tabakası yapılması (3 cm den fazla yerlerde)	kg	572.302,53	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	71,54	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
48	27.583	2,5 cm kalınlığında 400 kg çimento dozlu şap yapılması	kg	103.826,80	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	25,96	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
49	28.121	Cam tuğlası ile duvar yapılması	m ³	183,15	Cam tuğla	Glass bricks, bricks average density: 1800 kg/m ³ , EN15804+A1, ref. year 2018
50	28.134/C	Madeni konstrüksiyonlara profil veya çita 4+6 mm ısı kontrol kaplamalı çift cam takılması	m ²	410,70	Çift cam	Double glazing, 10 mm, 25,7 kg/m ² (SCHOTT)
51	MSB.805/A	Paslanmaz Çelik Merdiven Korkuluğu ve Küpeştesi Yapılması	kg	1.303,63	Paslanmaz korkuluk	Stainless steel long products, 7700-8100 kg/m ³ (Outokumpu)
52	MSB.922/A1	12 mm compact laminant ile bölme panosu yapılması	m ²	135,70	Compact lamimant bölme panosu	High pressure laminate (HPL) board, for wall application, 8 mm, 11.2 kg/m ² , 1394 kg/m ³
53	ÖZEL-01	60x60 ParlakGranit seramik karolarla fugalı döşeme kaplaması yapılması	m ²	8.397,94	Seramik karo	Ceramic floor tiles (Kutahya Seramik)
			kg	314.083,11	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	92,38	Çimento	Portland cement, Poland average, CEM I (Polish Cement Association)
54	ÖZEL-04	Yüzey sertleştirici katkıli şap yapılması	kg	9.246,38	Yüzey sertleştirici katkıli şap	Epoxy floor coating, 10-20 mm, 1400 kg/m ³ , 60 MPa, weberfloor epocoat (weber UAE)
55	ÖZEL-06	Mekanik montaj granit cephe kaplaması (African red)	m ²	1.263,03	Seramik karo	Ceramic façade cladding, 67.07 kg/m ² , 2050 - 2200 kg/m ³ , TERRART (NBK)
56	ÖZEL-08	Strüktürel cephe imalatı 6+12+4 reflekte temperli cam dahil	m ²	2.251,00	Strüktürel cephe imalatı	Aluminium framed unitized curtain wall system with tempered glass insulating unit, double glazed, 4-16-4, 50.3 kg/m ² , 0% recycled aluminium (One Click LCA)
57	ÖZEL-14	Özel 100/220 yangın kapısı	adet	14,00	Yangın kapısı	Steel door with mineral wool core, per unit, 3 x 7 x 1.75 in, 62.65 kg/unit, 727 Series Temperature Rise Door (Assa Abloy)

Tablo A1.3: Kapalı Yüzme Havuzu T2 Blok Binası.

S.NO	POZ NO	İŞİN TANIMI	BRM	MİKTARI	Malzeme	One Click LCA
1	15.140/4A	Tuvenan Kum Çakılın Temin Edilerek, Makine ile Serme,Sulama,Sıkıştırma Yapılması.	kg	2109547	Tuvenan kum çakıl	Natural gravel and sand (Grunnar Holth Grusforretning, Laugslet plant)
2	15.140/5A	Tuvenan Kum Çakılın Temin Edilerek El ile Serme,Sulama, Sıkıştırma Yapılması.	kg	98396	Tuvenan kum çakıl	Natural gravel and sand (Grunnar Holth Grusforretning, Laugslet plant)
3	15.140/8A	Kırmataş İle Drenaj Yapılması.	kg	127772	Kırmataş	Crushed rock, 0-16 mm, 0-32 mm, 0-63 mm, 0-90 mm, 16-32 mm and 32-64mm, 2500-3000 kg/m ³ for solid rock, 1400-1700 kg/m ³ for crushed rock (Skanska)
4	15.346/A	Temel Tabanına Ocak Taşı (70-150mm) ile Filtre Malzemesi Serilmesi ve sıkıştırılması	kg	730592	Ocak taşı İle filtre malzemesi	Crushed rock, 0-16 mm, 0-32 mm, 0-63 mm, 0-90 mm, 16-32 mm and 32-64mm, 2500-3000 kg/m ³ for solid rock, 1400-1700 kg/m ³ for crushed rock (Skanska)
5	18.140/B1	Suya dayanıklı alçı duvar levhaları ile çift iskeletli askı sistemli asma tavan yapılması (12,5 mm tek kat alçı duvar levhası ile)	m ²	493,33	Alçıpan	Gypsum plaster board, moisture and fire-resistant, 12.5 mm, 10 kg/m ² , 800 kg/m ³ , Suya ve Yangına Dayanıklı Alçıpan (WRFR) Type F (Knauf)
			m ²	493,33	Metal çerçeve elemanları	Metal framing components for gypsum plasterboard, carrier (C) and non-carrier (U) types, thickness: 0.4-0.6 to 0.5 - 2.0 mm, 7850 kg/m ³ (UMS)
6	18.233/6	Mevcut ahşap, çelik, betonarme kiriş veya aşıklı çatı üzerine arası 6 cm cam yünü dolgulu üst kat 0.70 mm alt kat 0.50 mm trapezoidal alüminyum levhalar (EN AW 3003 Al-Mn1 Cu) ile ısı yalıtımlı (Sandviç sistem) çatı örtüsü yapılması	kg	6.577,68	Trapez alüminyum levhalar	Trapezoidal corrugated coated aluminium sheet, in coils, 0.7 mm, 2.61 kg/m ² , ELVAL ENF Trapezoidal Corrugated Sheet: Type A (Elval Colour)
			m ²	1.298,91	Cam yünü (18kg/m ³ -6cm)	Glass wool insulation, 35 mm, 0.035 W/mK, 630 g/m ² , 18 kg/m ³ , ISOVER KL/KT-35 Multi-Pack (Saint-Gobain)
7	19.090	Betona su geçirimsizlik temin edici katkı maddesi ilâvesi (septik çukurlar, su depoları, temel perdeleri, kanal ve galeriler, çıplak beton yapı kısımları v.b.) (harç bünyesindeki her 100 kg çimentonun %0,7 oranı için)	kg	289,373	Beton su geçirmezlik katkısı	Concrete admixture - water resisting admixtures, 1-1.6 g/ml (EFCA)
8	23.243/11	60x60 cm ebadında 0,70 mm kalınlığında minimum 20 mikron elektrostatik toz boyalı (polyester esası) delikli alüminyum plakadan (EN AW 3000 serisi) sarkmalı sistem asma tavan yapılması	m ²	618,48	Alüminyum sarkmalı sistem asma tavan	Aluminium ceiling system, perforated, 2.79 kg/m ² , Bandeja Parma T15 (THU)

Tablo A1.3: Devam.

9	23.243/14A	30x30 cm ebadında 0,70 mm kalınlığında minimum 20 mikron elektrostatik toz boyalı (polyester esası) delikli alüminyum plakadan (EN AW 3000 serisi) sarkmalı sistem asma tavan yapılması	m ²	76,59	Alüminyum sarkmalı sistem asma tavan	Aluminium ceiling system, perforated, 2.79 kg/m ² , Bandeja Parma T15 (THU)
10	25.116/S11	PVC esası zemin malzemeleri ile kapalı spor zeminlerde döşeme kaplaması yapılması (P1)	m ²	415,6	PVC döşeme kaplaması	Vinyl flooring, 7.3 mm, 4.7 kg/m ² , 644 kg/m ³ , Taraflex Sport (Gerflor)
			kg	1246,8	Self levelling	Screed, self-leveling, 1080 kg/m ³ , Dalsan (FLOORTEK)
11	26.210/MKA	3 cm kalınlıkta andezit plaklarla döşeme kaplaması yapılması (30 cmx60cm)	m ²	385,84	Andezit plak	Malzeme yazılımda bulunmuyor. Bu nedenle hesaplama dahil edilemedi.
			ton	4,862	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.)
			kg	19677,5	Kum	Sand (One Click LCA)
12	26.222/MKA	10x20x50 cm boyutlarında andezit bordür temini ve yerine döşenmesi	m	202,8	andezit bordür	Malzeme yazılımda bulunmuyor. Bu nedenle hesaplama dahil edilemedi.
			ton	0,081	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.)
			kg	345,1	Kum	Sand (One Click LCA)
13	26.502/MK	Beyaz çimentolu, tek tabakalı terrazo karo plak (suni mermer - sınıf 2) ile iç mekanlarda döşeme kaplaması yapılması (cılalı) (250x250mm/300x300 mm/330x330mm vb ebatlarda)	m ²	2123,36	Terrazo karo plak	Terrazzo slabs and tiles, 1-1/4 inch, 64 kg/m ² , Terrazzo Lumina, PIXA, Sensitile Terrazzo (Sensitile Systems)
			ton	33,974	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.)
			kg	144387,8	Kum	Sand (One Click LCA)
14	27.507/MK	500 kg çimento dozlu harçla tek kat düz sıva yapılması (Beton duvarlı su depoları için)	ton	12,10	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.)
			kg	41140	Kum	Sand (One Click LCA)
15	27.528/3	İnce sıva, alçı sıvalı vb. yüzeyler üzerine 3 mm kalınlığında saten alçı kaplama yapılması	kg	9.262,91	Saten alçı	Plaster, finishing for skimming, for interior use, 0.71 water/kg plaster, 8-30 mm, 690kg/m ³ bulk, Saten Perdah Alçısı (Rigips)
16	27.530/1	Hazır makine sıvası ile tavanlara 15 mm kalınlığında tek kat alçı sıva yapılması	kg	5403,84	Makine sıvası	Plaster, for interior use, spray on application, 0.5 l water/kg plaster, 8-30 mm, 850 kg/m ³ bulk, Makina Sıva Alçısı (Rigips)
17	27.530/2	Hazır makine sıvası ile duvarlara 20 mm kalınlığında tek kat alçı sıva yapılması (Beton, tuğla ve benzeri yüzeylere)	kg	84.949,62	Makine sıvası	Plaster, for interior use, spray on application, 0.5 l water/kg plaster, 8-30 mm, 850 kg/m ³ bulk, Makina Sıva Alçısı (Rigips)
18	27.534/MK	Kireç-çimento karışımı harçla bir kat düz sıva yapılması	kg	12688,8	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	2,164	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.)
			ton	0,224	Söndürölme miş kireç	Quicklime
19	27.581/MKA	200 kg çimento dozlu 5cm tesviye tabakası yapılması	kg	133548,6	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	15,712	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.)

Tablo A1.3: Devam.

20	27.583/MK	2.5 cm kalınlığında 400 kg çimento dozlu şap yapılması	kg	36295	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	8,54	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
21	27.586/MK	4 cm kalınlığında 500 kg çimento dozlu şap yapılması	kg	36638,4	Kum	Sand (One Click LCA)
			Ton	10,776	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
22	29.922/1A	12 mm Compact Laminat ile Bölme Panosu ve Kapı Yapılması	m ²	69,135	Compact lamimant bölme panosu	High pressure laminate (HPL) board, for wall application, 8 mm, 11.2 kg/m ² , 1394 kg/m ³
23	ÖZEL-01	2x30x100 cm Doğal Granit Döşeme Kaplaması Yapılması (AKSARAY YAYLAK)	m ²	52,53	Seramik karo	Ceramic floor tiles (Kutahya Seramik)
			kg	2679,2	Kum	Sand (One Click LCA)
			Ton	0,662	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
24	ÖZEL-01a	Doğal granit Basamak Kaplaması Yapılması (AKSARAY YAYLAK) basamak 3cm rıht 2cm	m ²	309,84	Seramik karo	Ceramic floor tiles (Kutahya Seramik)
			kg	5706,9	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	1,343	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
25	ÖZEL-01b	Doğal Granit Denizlik Yapılması (AKSARAY YAYLAK) 3cm	m ²	21,18	Seramik karo	Ceramic floor tiles (Kutahya Seramik)
			kg	3240,2	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	0,53	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
26	ÖZEL-02	2x40x40 cm Doğal Granit Döşeme Kaplaması (Yakılmış-AKSARAY YAYLAK)	m ²	38,63	Seramik karo	Ceramic floor tiles (Kutahya Seramik)
			kg	1970,3	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	0,487	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
27	ÖZEL-02a	Doğal granit Basamak Kaplaması Yapılması (Yakılmış-AKSARAY YAYLAK) basamak 3cm rıht 2cm	m ²	87,6	Seramik karo	Ceramic floor tiles (Kutahya Seramik)
			kg	1936,3	Kum	Sand (One Click LCA)
			ton	0,456	Çimento	Cement, CEM I, CEM I 42.5 R (Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.S.)
28	ÖZEL-03	25*25 Ebatlarında Rölyefli Kaymaz Porselen Seramiklerden Döşeme Kaplaması Yapılması (Yapıştırıcı)	m ²	408,96	Porselen Seramik	Porcelain ceramic slab, 7.86 kg/m ² , Kalesinterflex (Kale)
			m ²	408,96	Seramik yapıştırma harcı	Mortar for laying ceramic tiles, average, Type C, 3,04 kg/m ² , 2.14 mm 1414 kg/m ³ (Mapei Spain, ParexGroup Morteros, Propamsa, Sika)
29	ÖZEL-06	Alüminyum Köşe Profili	kg	55,61	Alüminyum köşe profili	Aluminium, 2700 kg/m ³ , LEC (Tate)
30	ÖZEL-08	Mekanik Askılı Elemanlar ile Porselen Seramik Cephe Kaplaması (Mat Beyaz)	m ²	2.654,92	Porselen Seramik	Ceramic façade cladding, 67.07 kg/m ² , 2050 - 2200 kg/m ³ , TERRART (NBK)
31	ÖZEL-08a	Mekanik Askılı Elemanlar ile Porselen Seramik Cephe Kaplaması (Renkli)	m ²	1.039,69	Porselen Seramik	Ceramic façade cladding, 67.07 kg/m ² , 2050 - 2200 kg/m ³ , TERRART (NBK)

Tablo A1.3: Devam.

32	ÖZEL-11	Alüminyum Kompozit Cephe Paneli ile Kaplama Yapılması. (Mekanik Askı Elemanlı)	m ²	1.341,21	Alüminyum Kompozit Cephe Paneli	Aluminum composite panel, curtain walling/facade, mineral filled, 4 mm, 7.1 kg/m ² , B1 (Saray)
33	ÖZEL-13	Kapaklı Alüminyum Giydirme Cephe Yapılması. (6+16+6)	m ²	175,8	Kapaklı Alüminyum Giydirme Cephe	Aluminium framed unitized curtain wall system with tempered glass insulating unit, double glazed, 4-16-4, 50.3 kg/m ² , 0% recycled aluminium (One Click LCA)
34	ÖZEL-14	Alüminyum Doğrama Profili içine 6+16+6 güneş kontrollü, ısı Yalıtımlı temperli çift cam ünitesi takılması.	m ²	188,7	6+16+6 güneş kontrollü, ısı Yalıtımlı temperli çift cam	Double glazing, 10 mm, 25,7 kg/m ² (SCHOTT)
35	ÖZEL-15	Kendinden Taşıyıcılı Giydirme Alüminyum Cephe Yapılması. (6+16+6)	m ²	262,62	Kendinden Taşıyıcılı Giydirme Alüminyum Cephe	Aluminium framed unitized curtain wall system with tempered glass insulating unit, double glazed, 4-16-4, 50.3 kg/m ² , 0% recycled aluminium (One Click LCA)
36	ÖZEL-19	Elastomer Bitüm Esaslı Kendinden Yapışkanlı Su Yalıtım Membranı ile Teraslarda Su Yalıtımı Yapılması.	m ²	947,69	Elastomer esaslı su yalıtımı	APP/SBS polymer-modified bitumen membrane roofing, 3 mm, 1120 kg/m ³ . OPAL, GRANAT, RUBIN, LUNA (ODE Yalıtım Sanayi)
37	ÖZEL-20	PVC drenaj levhası Döşenmesi	m ²	496	PVC drenaj levhası	Malzeme yazılımda bulunmuyor. Bu nedenle hesaplama dahil edilemedi.
38	ÖZEL-28	Sıcak Daldırma Galvaniz Yapılması	kg	1.746,37	Sıcak Daldırma Galvaniz	Galvanizing process for steel plates, EU avg., 85 microns coating for 1m x 1m x 8mm steel plate, 62.4 kg/m ² (EGGA)
39	ÖZEL-29a	Alüminyum Profiller ile Ayarlı Kapı Kasası Yapılması	kg	483,3	Alüminyum profil	Aluminium, 2700 kg/m ³ , LEC (Tate)
40	ÖZEL-30	Kapı Kanatlarına Arkası Sineklikli Alüminyum Menfez (Natural Eloksallı) Yapılması.	m ²	12	Alüminyum Menfez	Aluminium louvres for ventilation systems, 15 kg/m ² (Maple Façades Ltd.)
41	ÖZEL-32	Endüstriyel Tip Arkalı PVC Tribün Koltuğu Temini ve Montajı	ad	96	PVC Tribün Koltuğu	Stadium seats, 8.7 kg/unit, ABACUS, OMEGA, SIGMA (Nowy Styl)
42	ÖZEL-38	12,5*25 Ebatlarında Sırlı Porselen Seramikler ile Havuz içi Zemin Seramik Döşeme Kaplaması (Açık Mavi-Yapıştırıcı)	m ²	431,25	Porselen Seramik	Glazed porcelain tiles, 10 mm, 22.21 kg/m ² , 2220.5 kg/m ³ (Ege Seramik)
			m ²	431,25	Seramik yapıştırma harcı	Mortar for laying ceramic tiles, average, Type C, 3,04 kg/m ² , 2.14 mm 1414 kg/m ³ (Mapei Spain, ParexGroup Morteros, Propamsa, Sika)
43	ÖZEL-39	12,5*25 Ebatlarında Sırlı Porselen Seramikler ile Havuz içi Duvarlarında Seramik Kaplaması (Açık Mavi-Yapıştırıcı)	m ²	176,04	Porselen Seramik	Glazed porcelain tiles, 10 mm, 22.21 kg/m ² , 2220.5 kg/m ³ (Ege Seramik)
			m ²	176,04	Seramik yapıştırma harcı	Mortar for laying ceramic tiles, average, Type C, 3,04 kg/m ² , 2.14 mm 1414 kg/m ³ (Mapei Spain, ParexGroup Morteros, Propamsa, Sika)
44	ÖZEL-50	Modifiyeli (1mm+2mm) Kalınlıkta 2 Kat Sürme Yalıtım Yapılması (Yüzme Havuzu ve Denge Depoları için) Çimento Esaslı Polimer	kg	5109,3	Polimer Modifiyeli Sürme Su Yalıtımı	Water based cementitious coat for waterproofing system, Concentrate (Xypex Australia)

Tablo A1.3: Devam.

45	Y.16.050/02	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 12/15 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	415,36	Hazır beton	Ready-mix concrete, generic, C12/15 (1700/2200 PSI), X0, 0% fly ash, CEM I Portland cement, 2367 kg/m ³ (One Click LCA)
46	Y.16.050/06	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	2.554,10	Hazır beton	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37 (4400/5400 PSI), S1 XC0/XC1, 0% recycled binders in cement (min cem. content: 280 kg/m ³ / 18.72 lbs/ft ³), Portland cement CEM I 42.5 (One Click LCA (2024))
47	Y.18.110/01C04	10 cm kalınlığındaki techizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (G2 sınıfı)(2,50 N/mm ² ve 400 kg/m ³)	m ²	371,64	Gaz beton blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)
48	Y.18.110/01C10	20 cm kalınlığındaki techizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (G2 sınıfı)(2,50 N/mm ² ve 400 kg/m ³)	m ²	1.735,47	Gaz beton blok	Autoclaved aerated concrete blocks, thicknesses: 5, 7.5, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 cm (AKG Gazbeton)
49	Y.18.461/001	3 mm kalınlıkta plastomer esaslı (-5 soğukta bükülmeli) cam tülü taşıyıcılı ve 3 mm kalınlıkta plastomer esaslı (-5 soğukta bükülmeli) polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtüler ile iki kat su yalıtımı yapılması	m ²	2.710,58	Polimer bitümlü örtü Su yalıtımı	Bituminous waterproofing system, double-layer, 5-6.5mm, 7.66kg/m ² (moyenne), 1100-1700kg/m ³ (Chambre Syndicale Française de l'Etanchéité)
50	Y.18.461/042	250 gr/m ² ağırlıkta geotekstil keçe serilmesi	m ²	3.784,28	Geotekstil keçe	Geotextile, generic, 312 g/m ² (1.02 oz/ft ²), Composition: PP net, non-woven PE felt (One Click LCA)
51	Y.19.055/023	5 cm kalınlıkta expande polistren levhalar (EPS - 16 kg/m ³ yoğunlukta) ile dış duvarlarda dıştan ısı yalıtımı ve üzerine ısı yalıtım sıvası yapılması (Mantolama)	m ²	1.571,68	EPS köpük ısı yalıtım levhaları	EPS insulation panels, L= 0.038 m ² K/W, R=1 m ² K/W, 38 mm (10-200 mm range), 600 x 1200mm, 0.6555 kg/m ² , 17.25 kg/m ³ , compressive strength class 100 kN/m ² , Lambda=0.038 W/(m.K), EPS 100 (EPS Sverige (BeWi Insulation, Jackson, Sundolitt))
			kg	6.286,72	Yalıtım levhaları için yapıştırıcı harcı	Cement-based polymer-modified adhesive mortar for insulation boards, 1300 kg/m ³ , SWA (Smart Insulation Finishing Systems LLC)
			kg	7.858,40	Isı yalıtım sıvası	Fiber-reinforced dry mortar, binder 10-30%, aggregate 60-90%, filler 5-10%, webertherm 340 underlagsbruk / webertherm 343 basbruk (Weber)

Tablo A1.3: Devam.

52	Y.19.056/003	5 cm kalınlıkta yüzeyi düzgün levhalar (XPS - 300 Kpa basınç dayanımlı) ile bodrum perdelerinde su yalıtımı üzerine ısı yalıtımı yapılması	m ²	637,74	5 cm XPS	XPS insulation panels, L=0.033 W/mK, R=1.2 m ² K/W, 40 mm, 1.25 kg/m ² , 31.25 kg/m ³ , compressive strength 300 kPa, CO ₂ blowing agent, Lambda=0.033 W/(m.K) (One Click LCA)
53	Y.19.058/003	5 cm kalınlıkta yüzeyi düzgün levhalar (XPS - 200 Kpa basınç dayanımlı) ile yatayda (zemin yada arakat döşeme betonu üzerinde vb.) ısı yalıtımı yapılması	m ²	790,95	5 cm XPS	Insulation, XPS, L = 0.035 W/mK, T: 40-60 mm, 24.2 kg/m ³ , PRM (ODE Yalitim Sanayi)
54	Y.19.085/006	Çimento esaslı polimer modifiyeli iki bileşenli kullanıma hazır yalıtım harcı ile file takviyeli olarak, 2 kat halinde toplam 1.5 mm kalınlıkta su yalıtımı yapılması	kg	2562	Polimer Modifiyeli Sürme Su Yalıtımı	Water based cementitious coat for waterproofing system, Concentrate (Xypex Australia)
55	Y.23.014	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	Ton	121,2	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu	Reinforcement steel bars (Saudi National Steel Factory Co.)
56	Y.23.015	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	Ton	96,3	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu	Reinforcement steel bars (Saudi National Steel Factory Co.)
57	Y.23.101	Her çeşit profil, çelik çubuk ve çelik saclarla karkas, (çerçeve) inşaat yapılması, yerine tespiti (yapı karkası, köprülerde profil demirlerinden kirişler, başlıklar, bağlantılar ve benzeri imalatlar)	Ton	114,4	Sıcak haddelenmiş profil demirler	Steel structure, 7850 kg/m ³ (GT Steel Construction AB)
			Ton	28,6	Düz siyah sac (1.5 mm kalınlık)	Structural steel plate (DONGKUK STEEL)
58	Y.23.152	Kare ve dikdörtgen profillerle pencere ve kapı yapılması ve yerine konulması	ton	1,92	Demir	Hot rolled pickled steel plate and strip (Baoshan Iron & Steel)
59	Y.23.176	Lama ve profil demirlerden çeşitli demir işleri yapılması ve yerine konulması	ton	2,18	Demir	Hot rolled pickled steel plate and strip (Baoshan Iron & Steel)
60	Y.23.244/A	Naturel-mat eloksallı profillerle ısı yalıtımsız alüminyum doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması	kg	2.734,49	Alüminyum doğrama	Aluminum profile for windows and doors, powder coated, 2600 kg/m ³ , Coated Al Profile (Saray)
61	Y.23.244/F	Naturel-mat ve eloksallı ısı yalıtımlı alüminyum doğrama imalatı yapılması ve yerine konulması	kg	2.825,26	Alüminyum doğrama	Aluminum profile for windows and doors, powder coated, 2600 kg/m ³ , Coated Al Profile (Saray)
62	Y.25.002/02	Demir yüzeylere iki kat antipas, iki kat sentetik boya yapılması	m ²	2.500,00	Karbon çeliği ve galvanizli çelik için su bazlı epoksi kaplama	Waterborne epoxy coating, for carbon steel and galvanized steel, 2.5 kg/l, wet film thickness: 90-160 µm, theoretical spreading rate: 11.2-6.2 m ² /l, WaterFine Barrier (Jotun)

Tablo A1.3: Devam.

63	Y.25.003/22	Saten alçılı ve alçıpanel yüzeylere astar uygulanarak iki kat su bazlı yarımast boyay yapılması (iç cephe)	kg	823,20	Su bazlı iç cephe boyası	Water based interior wall paint, solids by volume: 39%, spreading rate: 14.95 - 10.7 m ² /l, 1300 kg/m ³ , Fenomastic Zen (Jotun A/S)
			kg	617,40	Su bazlı boya astarı	Interior paint plasters, paste (SIPEV)
64	Y.25.004/05	Brüt beton, sıvalı veya eski boyalı yüzeylere, astar uygulanarak silikon esaslı grenli/tekstürlü kaplama yapılması (dış cephe)	kg	44,7825	Su bazlı silikon esaslı dış cephe astarı	Silicone acrylic water-based primer for exterior and interior walls, 0.057 kg/m ² , 1.02 kg/l, 18 m ² /l, Vivedur Multiprimer Eco (Vivechrom)
			kg	328,405	Silikon esaslı su bazlı grenli dış cephe kaplaması	Water-based textured exterior paint, 1800 kg/m ³ , 63 ± 2 % solids/volume, Jotashield Decor High Build Fine, U.A.E (Jotun A/S)
65	Y.26.006/405	(25 x 33 cm) veya (25 x 40 cm) anma ebatlarında, her türlü desen ve yüzey özelliğinde, I.kalite, renkli seramik duvar karoları ile 3 mm derz aralıklı duvar kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)	m ²	615,59	Seramik	Ceramic wall tiles, 9 mm, 16.13 kg/m ² , 1792.2 kg/m ³ (Ege Seramik)
			m ²	615,59	Seramik yapıştırma harcı	Mortar for laying ceramic tiles, average, Type C, 3,04 kg/m ² , 2.14 mm 1414 kg/m ³ (Mapei Spain, ParexGroup Morteros, Propamsa, Sika)
66	Y.26.008/305A	40 x 40 cm anma ebatlarında, her türlü renk, desen ve yüzey özelliğinde, I.kalite, mat, sırsız porselen karo ile 3 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)	m ²	970,24	Seramik	Ceramic wall tiles, 9 mm, 16.13 kg/m ² , 1792.2 kg/m ³ (Ege Seramik)
			m ²	970,24	Seramik yapıştırma harcı	Mortar for laying ceramic tiles, average, Type C, 3,04 kg/m ² , 2.14 mm 1414 kg/m ³ (Mapei Spain, ParexGroup Morteros, Propamsa, Sika)