DÜZCE ÜNİVERSİTESİ | LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT DIŞ DUVAR MALZEMELERİYLE ÜRETİLEN BİR YAPININ YEŞİL YAPI BİLGİ MODELLEMESİ AÇISINDAN İRDELENMESİ

NİHAL BENLİ

DOKTORA TEZİ
DİSİPLİNLERARASI
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. LATİF ONUR UĞUR

DÜZCE, 2025

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT DIŞ DUVAR MALZEMELERİYLE ÜRETİLEN BİR YAPININ YEŞİL YAPI BİLGİ MODELLEMESİ AÇISINADAN İRDELENMESİ

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

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Latif Onur UĞUR

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Latif Onur UĞUR
Düzce Üniversitesi _____

Prof. Dr. Yılmaz KOÇAK
Düzce Üniversitesi _____

Prof. Dr. Mürsel ERDAL
Gazi Üniversitesi _____

Doç. Dr. Emrah YILMAZ
Düzce Üniversitesi _____

Doç. Dr. İlknur BEKEM KARA
Artvin Çoruh Üniversitesi _____

Tez Savunma Tarihi: 01/07/2025

BEYAN

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

01/07/2025

NİHAL BENLİ

TEŞEKKÜRLER

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı kıymetli hocam Doç. Dr. Latif Onur UĞUR'a katkıları, kattıkları ve bana açtığı yeni pencereler ve yeni bir perspektif sunduğu için kendisine bir ömür boyu minnet duyarım.

Tez izlemem sırasında yapı malzemesi bilgisiyle destek olmakla kalmayıp, insanlık ve merhamet duygularını da kendilerinde bulduğum Prof. Dr. Yılmaz KOÇAK'a teşekkür ederim.

Diğer bir tez izleme üyem Prof. Dr. Mürsel ERDAL'a bilgisiyle ve geniş ufkuyla tünelin sonundaki ışığı gösterip umutla çalışmama devam etmemi sağladığı için ayrıca teşekkür ederim.

Tezimin daha iyi bir versiyonunu oluşturmama katkı sağlayan tez savunmamda bulunan Doç. Dr. İlknur BEKEM KARA ve Doç. Dr. Emrah YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Archicad yazılımında desteklerini esirgemeyen mimari modeli tekrar revize eden Ender AYDIN'a ve Revit yazılımı ile BIM konusunda yardımcı olan Dursun Furkan ÇAPKIN'a bilgileriyle verdikleri destek hususundanda teşekkürü bir borç bilirim.

Bu süreç boyunca desteklerini esirgemeyen Annem Şükriye BENLİ ve babam Nuri BENLİ''ye ayrıca Düzce Üniversitesiyle tanışmamı sağlayan ablam Mimar Dr. Öğr. Üyesi Nuray BENLİ YILDIZ'a ve motivasyon kaynağım ablam Gülay KARABACAK'a ve büyük bir aile olduğumuzu hatırlatan Deniz KARABACAK ve Serkan YILDIZ'a ; bu ailenin küçük bireyleri yeğenlerim Janset YILDIZ, Derya KARABACAK ve Ada KARABACAK'a geleceğe umutla bakmama vesile oldukları için teşekkürlerimi sunarım ve bu çalışmayı tüm geniş aileme ithaf ederim. Bana gösterdikleri anlayış ve sabır için onlara minnettarım.

Bana inanan ve destek olan tüm akrabalarıma ve beni umutsuzluğa düşmekten koruyan tüm arkadaşlarıma onlara sahip olduğum için çok şanslı olduğumu belirtirim. Hepiniz iyi ki varsınız…

Temmuz 2025 **Nihal BENLİ**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ ix
ÇİZELGE LİSTESİ xi
KISALTMALAR xii
SİMGELER xiv
ÖZET xv
ABSTRACT xvi
EXTENDED ABSTRACT xvii
1. GİRİŞ 1
2. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ 5
2.1. BIM KAVRAMI 5
2.1.1. BIM Kavramının Teknoloji Açısından Önemi 7
2.1.1.1. Akıllı Şehirler 7
2.1.1.2. GIS Modeli 7
2.1.2. BIM Detay Seviyeleri (LOD) ve Anlamı 8
2.1.2.1. LOD 100: Kavramsal Tasarım 10
2.1.2.2. LOD 200: Kavramsal Gelişim / Yaklaşık Geometri 10
2.1.2.3. LOD 300:Ayrıntılı Tasarım / Hassas Geometri 10
2.1.2.4. LOD 350: Yapı Dökümantasyonu / Bağlantılı Hassas Geometri 11
2.1.2.5. LOD 400: İnşaat Dokümantasyonu / Üretime Hazır Geometri 11
2.1.2.6. LOD 500: As-Built ve Tesis Yönetimi / Operasyonel-İnşaa Edildiği Gibi Model 11
2.1.3. BIM Boyutları 12
2.1.3.1. 3D BIM Model 13
2.1.3.2. 4D BIM Model 14
2.1.3.3. 5D BIM Model 14
2.1.3.4. 6D BIM Model 15
2.1.3.5. 7D BIM Model 15
2.1.3.6. 8D BIM Model 16
2.1.3.7. 9D BIM Model 16
2.1.3.8. 10D BIM Model 17
2.1.4. BIM ve Yapay Zeka 17
2.2. BIM İLE İLGİLİ YAPILAN LİTERATÜR TARAMASI 18
2.2.1. Literatür Çalışmamızda 2022'ye Kadar Yapılan Araştırmaların Verilerinin Toplanma Yöntemi 18
2.2.2. Araştırmamızın Veri Analizi 19
2.2.3. Seçilen Veri Kaynaklarının Kümelenmesi 21
2.3. PAKET PROGRAMLARLA BULUNAN VERİLERİN İNCELENMESİ. 25
2.4. ÇALIŞMANIN YAPAY ZEKÂ KATKISIYLA GÜNCELLENMİŞ HALİ 36
2.5. BIM YAZILIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 39
2.6. YORUMLAR 39
3. SÜRDÜRÜLEBİLİR İNŞAAT 41

3.1. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE İNŞAAT SEKTÖRÜ 41
3.2. SÜRDÜRÜLEBİLİR İNŞAAT ve TERİMLERİ 43
3.2.1. Yeşil Yapı Malzemeleri 46
3.2.2. Yaşam Döngü Değerlendirme (LCA) 48
3.3. EPD (ÇEVRESEL ÜRÜN BEYANI) 51
3.3.1. EPD Oluşturma Adımları 53
3.4. YALIN İNŞAAT 56
3.5. İNŞAAT TÜRLERİ 60
3.6. YEŞİL BİNA VE GÖNÜLLÜ SERTİFİKASYONA GENEL BAKIŞ 61
3.6.1. BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) 62
3.6.2. DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen-the German Sustainable Building Council) 62
3.6.3. LEED (Leadership in Energy in Environmental Design) Uluslararası 62
3.6.4. Green Star Bölgesel 63
3.6.5. YeS-TR Bölgesel 63
3.7. YAPAY ZEKA İLE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK 63
4. MATERYAL VE YÖNTEMLER 65
4.1. MATERYAL 65
4.1.1. Tuğla ve Tuğla Duvar 66
4.1.2. Gazbeton Blok ve Gazbeton Duvar 67
4.1.3. Bims Blok ve Bims Blok Duvar 68
4.1.4. Yapı Malzemesi Olarak Karşılaştırma 69
4.2. METOT 70
4.3. AHP YÖNTEMİ VE ANKET ÇALIŞMASININ ENTEGRASYONU 73
5. BULGULAR 79
5.1. ALTERNATİF KOMPOZİT DIŞ DUVAR ELEMANIN İNCELENMESİ 79
5.2. REVIT YAZILIMI İLE BULUNAN FİZİKSEL VE ÇEVRESEL ETKİLER 81
5.3. ARCHICAD YAZILIMI'DA KULLANILAN ÇEVRESEL ÖZELLİKLER 84
5.4. AHP YÖNTEMİNİN KULLANILMASI 90
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 92
6.1. YAZILIM PROGRAMLARIYLA SİMÜLASYON ÇALIŞMASI SONUCU 93
6.2. AHP YÖNTEMİYLE OLUŞAN UZMAN GÖRÜŞLERİNİN YORUMLANMASI 95
6.3. İLERİYE DÖNÜK ÖNERİLER 96
7. KAYNAKLAR: 98
8. EKLER 118
8.1. EK 1: ALTERNATİF KOMPOZİT DUVAR MALZEMELERİ 118
8.1.1. TGUB.exe Yazılımında Malzeme Seçimi 118

8.1.1.1. Kil Tuğlanın Yoğunluğunun 700 kg/m³ Olarak Seçilmesiyle Duvar Özellikleri..... 118
8.1.1.2. Gazbeton Blok Yoğunluğunun 400 kg/m³ Olarak Seçilmesiyle Duvar Özellikleri.. 118
8.1.1.3. Bims Blok Yoğunluğunun 450 kg/m³ Olarak Seçilmesiyle Duvar Özellikleri..... 119
8.1.2. Archicad Programında Kullanılmak İçin İnternetten Bulunan EPD Verileri ve Türk Standartlarında Seçilen Malzemeye Uyarlanması..... 120
8.1.2.1. Duvar Çekirdekleri EPD'sine Ulaşılan İnternet Siteleri..... 120
8.1.2.2. Kil Tuğla Malzemesi İçin Seçilen EPD Hakkında Bilgiler e Archicad'e Girilmesi İçin Uyarlanan Veriler..... 120
8.1.2.3. Gazbeton Blok Malzemesi İçin Seçilen EPD Hakkında Bilgiler ve Archicad'e Girilmesi İçin Uyarlanan Veriler..... 123
8.1.2.4. Bims Blok Malzemesi İçin Seçilen EPD Hakkında Bilgiler Ve Archicad'e Girilmesi İçin Uyarlanan Veriler..... 125
8.1.3. ArchiCAD Yazılımında Modellenen Duvarlar 128
8.1.3.1. Kil Tuğla Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri..... 128
8.1.3.2. Gazbeton Blok Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri..... 130
8.1.3.3. Bims Blok Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri..... 131
8.1.4. REVIT Yazılımında Modellenen Duvarlar 133
8.1.4.1. Kil Tuğla Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri..... 133
8.1.4.2. Gazbeton Blok Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri..... 135
8.1.4.3. Bims Blok Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri..... 137
8.2. EK 2: ÖRNEK YAPININ MODELLENMESİ 139
8.2.1. ARCHICAD'de Modellenen Bina Modeli 139
8.2.2. REVIT'te Modellenen Bina Modeli 140
8.2.3. Archicad Yazılımının EcoDesigner Star Arayüzü ile Veri Girdisi Yapılması 142
8.2.4. Revit Yazılımının Eklentisi Tally ile Veri Girdisi Yapılması 146
8.3. EK 3: ÖRNEK YAPININ METRAJ BİLGİLERİ 150
8.3.1. Duvar Çekirdeği Archicad Yazılımıyla Oluşturulan Duvar Çizelgesi 150
8.3.2. Duvar Çekirdeği Revit Yazılımıyla Oluşturulan Duvar Çizelgesi 151
8.4. EK 4: ÖRNEK YAPININ ARCHICAD YAZILIMININ EKLENTİSİ ECODESIGNER STAR İLE ENERJİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİ 152
8.4.1. Kil Tuğla İçin Yapılan Hesapların Verileri..... 152
8.4.2. Gazbeton blok İçin Yapılan Hesapların Verileri..... 158
8.4.3. Bims Blok İçin Yapılan Hesapların Verileri 164
8.5. EK 5: ÖRNEK YAPININ REVİT YAZILIMININ EKLENTİSİ TALLY İLE ÇEVRESEL ETKİ KAPSAMININ DEĞERLENDİRMELERİ 170
8.5.1. Tally Programında Çevresel Etki Hesaplama Yöntemi Açıklaması.. 170
8.5.2. Kil Tuğla Çekirdekli Kompozit Duvara Ait Veriler 175
8.5.3. Gazbeton Blok Çekirdekli Kompozit Duvara Ait Veriler 185
8.5.4. Bims Blok Çekirdekli Kompozit Duvara Ait Veriler 195
8.6. EK 6:REVIT YAZILIMININ TALLY EKLENTİSİNDEN BULUNAN VERİLERİN İŞLENMESİ 205
8.6.1. Tüm İç Duvarlar için Tally Çevresel Etki verileri..... 205
8.6.2. Tüm Dış Kil Tuğla Duvar Model için Tally Çevresel Etki verilerinin TRACI sisteminin CML sistemine göre 1 m³ Başına Düşenin Hesaplanması 205
8.6.3. Tüm Dış Gazbeton Blok Duvar Model için Tally Çevresel Etki verilerinin TRACI sisteminin CML sistemine göre 1 m³ Başına Düşenin Hesaplanması..... 206
8.6.4. Tüm Dış Bims Blok Duvar Model için Tally Çevresel Etki verilerinin TRACI sisteminin CML sistemine göre 1 m³ Başına Düşenin Hesaplanması 206

8.6.5. Tüm Dış Duvar Çekirdek Modellerinin için Tally Çevresel Etki verilerinin TRACI sisteminin CML sistemine göre 1 m³ Başına Düşenin Hesaplarının Karşılaştırması 207
8.7. EK 7: AHP YÖNTEMİ ÇALIŞMASI SİSTEMİ 208
8.7.1. AHP için Superdecisions Programının Kullanılması 208
8.7.2. Uzmanlara Uygulanan Anket Çalışması Bilgileri ve Analizi 209
ÖZGEÇMİŞ 225

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. BIM işbirlikçileri, (Integrated BIM, 2024). 6
Şekil 2.2.Kavramsal Örnek Bina Resmi, (ShipProjects, 2023) 8
Şekil 2.3.BIM Detay Seviyeleri, (TEJJY, 2025). 9
Şekil 2.4. Şematik olarak BIM'ın LOD seviyeleri, (Martini, 2017). 10
Şekil 2.5. BIM Detay seviye gösterim sırası, (BIMLEAD, 2025). 12
Şekil 2.6. BIM'e ait 10 boyut (BibLus, 2024). 13
Şekil 2.7. BIM Makale Taramasının Veri Azaltılması Şekli, (Uğur & Benli, 2022). 20
Şekil 2.8. BIM Kavramında Maliyet ve Zaman Yönetiminin Bulunan Makale Tarama Kümeleri 21
Şekil 2.9. Zaman ve Maliyet Yönetimi Gruplarının Alt Gruplandırılması 21
Şekil 2.10. Zaman ve Maliyet Yönetimi Gruplarının Alt Gruplarının Yüzdelik Hali 22
Şekil 2.11. Yıllara göre 4D ve 5D'yi İçeren BIM Makalelerinin Dağılımı 23
Şekil 2.12. Konulara Göre Yıl Başına Düşen BIM Makalelerinin Sayısı 24
Şekil 2.13. Citespace Programında 114 Makalenin Ortak Anahtar Kelimelerinin Haritası 25
Şekil 2.14. VOSviewer Programıyla 114 Makalenin Yapılan Anahtar Kelime Yoğunluk Haritası 26
Şekil 2.15. BIM Anahtar Kelimesinin VOSviewerdaki Analizi, (Heidari vd., 2024) 37
Şekil 2.16. BIM ve Yapay Zeka Birlikte VOSviewer Programında İncelendiğinde Bulunan Analiz, (Heidari Vd., 2024) 38
Şekil 2.17. Yapay Zeka ve BIM içeren VOSviewer, (Heidari vd., 2024). 38
Şekil 3.1. Dünyada 2024 yılına ait İklim Krizinin Sıcaklık Artışı, (Tolunay, 2025). 41
Şekil 3.2. 2021 Yılına Ait Bina Sektörünün Durumu Ve 2050 Yılı Ön Görüsü (UNEP-United Nations Environment Programme -report /GlobalABC,2022) 43
Şekil 3.3. Binanın Tüm Yaşam Döngü Boyunca Oluşan Karbon Etki Aşamaları,(UNEP, 2023) 44
Şekil 3.4. İnşaat Malzemeleri İçin 2060 Yılı İş Senaryosu, (UNEP, 2023). 45
Şekil 3.5. İnşaat Sektöründe Kaçın-Değiştir-Geliştir Yaklaşımı, (UNEP, 2023). 46
Şekil 3.6. Enerji Verimliliği Sağlayan Akıllı Güneş Kırıcılar(iyi gün yapı, 2025). 47
Şekil 3.7. Bina Değerlendirme Bilgisi Gösterimi, (Harter vd., 2020). 48
Şekil 3.8. Dünyadaki LCA ve EPD Veri Çeşitliği (Poli, 2025) 54
Şekil 3.9. Last Planner System akış diyağramı (http://dbteam.com'dan uyarlama) 57
Şekil 3.10. Örnek KanBIM Yazılımının Kullanılışı, (Sacks vd., 2010). 58
Şekil 3.11. KanBIM Yazılımının Haftalık Planının Alt Yüklenicilere Uygulanması, (Sacks vd., 2010). 58
Şekil 3.12. Yalın İnşaat Üzerine Literatür Taraması, (Francis & Thomas, 2020). 59
Şekil 3.13. Yerinde İmalat türü İnşaat, (Ad Aren, 2025; Tsikos, 2025). 60
Şekil 3.14. Prefabrik İmalat ve Modüler İmalat Türü İnşaat, (Tsikos, 2025). 60
Şekil 3.15. Şantiye Dışında İmalatın Yaşam Döngü Aşamaları, (Hernández vd., 2023). 61
Şekil 4.1 Duvar Cinsleri (a)Katı Tuğla (b) Delikli Blok (c) Alternatif Blok, (Tsikos, 2025). 66
Şekil 4.2. 15cm'lık Kil Tuğla Çekirdekli Kompozit Duvar Diyagramı. 66
Şekil 4.3. 15cm'lık Gazbeton Blok Çekirdekli Kompozit Duvar Diyagramı. 68
Şekil 4.4. 15cm'lık Bims Blok Çekirdekli Kompozit Duvar Diyagramı. 69

Şekil 4.5. TGUB.exe Programının Tüm Farklı Çekirdekli Kompozit Duvar İçin Değerleri. 71
Şekil 4.6 Örnek Villanın Zemin ve 1. Kat Planları. 72
Şekil 4.7. Örnek Villanın Giriş Cephesi İzometrik Perspektifi. 73
Şekil 4.8. AHP işleyiş şeması, (Saaty,1980). 74
Şekil 4.9. Green BIM İş Kırım Yapısı Diyagramı 76
Şekil 4.10. SuperDecisions Programı Değerlendirme Aşamaları. 77
Şekil 4.11. SuperDecision Programının Green BIM Üzerine Yapılan Araştırma Şemasının Arayüzü 78
Şekil 5.1. Kriterlerin Lokal Ağırlıklarının Yüzde Cinsinden Verilmesi 90
Şekil 5.2 BIM ve LCA'ya göre Duvar Çekirdeği Malzemesinin Belirlenmesi 91

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. BIM'ın Zaman ve Maliyetin Alt Dallarına Göre İş Kırılım Yapısının Oluşturulması 22
Çizelge 2.2. BIM'ın 4D ve 5D'ye Göre Matris Elemanlarının Yıllara Göre Dağılımı .. 23
Çizelge 2.3. "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları 28
Çizelge 2.3. "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları Devamı… 29
Çizelge 2.3. "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları Devamı… 30
Çizelge 2.3. "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları Devamı… 31
Çizelge 2.3. "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları Devamı… 32
Çizelge 2.3. "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları Devamı… 33
Çizelge 2.3. "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları Devamı… 34
Çizelge 2.3. "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları Devamı… 35
Çizelge 2.4. VOSviewer Programında Zaman Değişiminden Kaynaklı Farklı Sıralama 36
Çizelge 3.1. İklimsel Olarak Türkiye Ortalama Sıcaklık Özeti, (Tolunay, 2025). 42
Çizelge 3.2. LCA Etki Göstergeleri ve Karakterizasyonu (orijinal dil),(Poli, 2025). 50
Çizelge 3.3. LCA Etki Göstergeleri ve Karakterizasyonu (Türkçe dilinde),(Poli, 2025). 50
Çizelge 3.4 Ülkelere ait EPD Sistemleri Gerekli Gören Setifikasyon Programları, (EPD Hub, 2025). 53
Çizelge 3.5. Malzeme Gruplarının Çevresel Etkilerinin Tablosu, (Tsikos, 2025). 55
Çizelge 4.1. AHP Kriterleri ve Seçim Kaynakları 75
Çizelge 5.1. Alternatif Kompozit Dış Duvar Materyal İhtiyaç Miktarının Bulunması. . 79
Çizelge 5.2. Archicad Yazılımıylala Bulunan Metraj Bilgisi 80
Çizelge 5.3. Revit Yazılımıyla Bulunan Metraj Bilgisi 81
Çizelge 5.4. Revit Yazılımında Dış Duvar Çekirdek Malzemelerinin Fiziksel Özelliklerinin Değerleri 82
Çizelge 5.5. Revit Programında Dış Duvar Çekirdeği Özelliklerinin Termal Değerleri. 83
Çizelge 5.6. REVIT Programının Eklentisi TALLY ile Dış Duvar Çekirdeği Çevresel Etki Özellikleri 84
Çizelge 5.7.Kil Tuğla İçin 1m^3 Başına Girilen Çevresel Etki Kritelerleri. 84
Çizelge 5.8. Gazbeton Blok İçin 1m^3 Başına Girilen Çevresel Etki Kritelerleri 85
Çizelge 5.9. Bims Blok İçin 1m^3 Başına Girilen Çevresel Etki Kritelerleri 85
Çizelge 5.10. ArchiCAD Programında Dış Duvar Çekirdeği Çevresel Etki Karşılaştırması 86
Çizelge 5.11. EcoDesgner Star programıyla U değeri ve Karbon Ayakizi Bina Kabuğu Özellikleri 87
Çizelge 5.12. Dış Duvar Çekirdek Malzemesi CML'ye Adapte Edilerek Bulunan Karşılaştırması 89

KISALTMALAR

ADP	Abiotic Depletion Potential / Fossil Fuel Depletion - Abiyotik Tükenme Potansiyeli / Fosil Yakıt Tükenmesi -
AHP	Analytical Hierarchy Process-Analitik Hiyerarşi Süreci
AI	Artificial Intelligence-Yapay Zeka
AIA	American Institute of Architects-Amerikan Mimarlar Enstitüsü
AP	Acidification Potential -Asitleştirme Potansiyeli
As built	İnşaa edildiği gibi
BEP	BIM Execution Plan – Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı
BIM	Building Information Model- Yapı Bilgi Modellemesi
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method- (Bina yaşam değerlendirme metodu)
CAD	Computer-Aided Design- Bilgisayar Destekli Tasarım
CML	Centrum voor Milieukunde Leiden-(Bir Çevresel Etki Sistemi)
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen-the German Sustainable Building Council-(Bina yaşam değerlendirme metodu)
EP	Eutrophication Potential-Ötrifikasyon Potansiyeli
EPD	Environmental Product Declaration-Çevresel Ürün Beyanı
GIS	Geographic Information System - Coğrafi Bilgi Sistemi
Green BIM	Yeşil Yapı Bilgi Modellemesi
GWP	Global Warming Potential-Küresel Isınma Potansiyeli
ICT	Information and Communication Technology- Bilgi ve İletişim Teknolojisi
IFC	Industry Foundation Classes- Endüstri Temel Sınıfları
IoT	the Internet of Things-Nesnelerin İnterneti
JIT	Just-In-Time-Tam Zamanında Üretim
LCA	Life Cycle Assessment-Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
LEA	Lean Energy Analysis-Yalın Enerji Analizi
LEED	Leadership in Energy in Environmental Design Uluslararası-(Bina yaşam değerlendirme metodu)
LOD	Level of Details -Detay Seviyeleri
LPS	Last Planner System-Son Planlayıcı Sistemi-
ML	Machine Learning-Makine Öğrenimi
ODP	Ozone Depletion Potential-Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli
PERT	Program Evaluation and Review Technique

POCP	Photochemical Ozone Creation Potential -Fotokimyasal Ozon Üretme Potansiyeli
RT	Robotic Technology-Robotik Teknolojisi
TRACI	Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts- (bir çevresel etki sistemi)
TS EN	Türk Standardı Avrupa Normu
U- değerleri	Heat Transfer Coefficient - Isı İletkenlik Katsayısı
UNEP	United Nations Environment Programme-Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VR	Virtual Reality-Sanal Gerçeklik
WBS	Work Breakdown Structure-İş Kırılım Yapısı
WIP	Work-In-Process- Üretimindeki İşler
WoS	Web of Science -(Elektronik Dergi Veri Tabanı Yayıncısı)

SİMGELER

C	Santigrat
cm	Santimetre
J/(g·°C)	Joule/(gram santigrat derece)
kg	Kilogram
kg CFC-11 eq.	Kilogram Triklorofloromet an Eşdeğeri
kg CO2 eq.	Kilogram Karbon Dioksit Eşdeğeri
kg N eq.	Kilogram Azot Eşdeğeri
kg NMVOC eq.	Kilogram Metan Dışı Uçucu Organik Bileşik
kg O_3 eq.	Kilogram Ozon Eşdeğeri
kg Sb eq.	Kilogram Antimon Eşdeğeri
kg SO_2 eq.	Kilogram Sülfür Dioksit Eşdeğeri
kg/m^3	Kilogram/ Metreküp
MJ	Megajoule
mol H^+ eq.	Mol Hidrojen İyonu Eşdeğeri
mol N eq.	Mol Azot Eşdeğeri
W/(m^2.K)	Watt/(metrekare Kelvin)

ÖZET

KOMPOZİT DIŞ DUVAR MALZEMELERİYLE ÜRETİLEN BİR YAPININ YEŞİL YAPI BİLGİ MODELLEMESİ AÇISINDAN İRDELENMESİ

Nihal BENLİ

Düzce Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı
Doktora Tezi
Danışman: Doç. Dr. Latif Onur UĞUR

Temmuz 2025, 224 sayfa

Günümüzde yapı sektöründe sürdürülebilirlik ilkelerinin uygulanması, çevresel etkilerin azaltılması ve doğal kaynakların etkin kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), yapıların tasarımı, yapımı, işletilmesi ve yaşam döngüsünün tüm aşamalarında bilgi temelli kararlar alınmasına olanak sağlayarak sürdürülebilir inşaat uygulamalarını destekleyen yenilikçi işlevsel bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu doktora çalışmasının temel amacı, sürdürülebilir inşaat yaklaşımı doğrultusunda BIM tabanlı simülasyon yöntemleri kullanılarak dış duvar malzemesi seçimlerinin çevresel performans açısından değerlendirilmesidir. Bu kapsamda; Türkiye'de yaygın olarak kullanılan ve yerli hammaddelerle üretilebilen üç farklı alternatif dış duvar malzemesi—Pişmiş Kil Tuğla, Gazbeton Blok ve Bims Blok—seçilmiş ve bunların enerji performansları ile çevresel etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, Düzce ilinde inşa edilmesi planlanan tipik bir dubleks konut binası, BIM simülasyon araçları kullanılarak dijital ortamda modellenmiştir. Bu süreçte hem ArchiCAD 27 hem de Revit 2024 yazılımları kullanılarak yapı bilgi modelleri oluşturulmuştur. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) simülasyonları için ArchiCAD yazılımına entegre EcoDesigner Star ve Revit yazılımına entegre çalışan Tally eklentileri kullanılmıştır. Böylece, her iki yazılımın çevresel etki değerlendirme sistemleri (EcoDesigner Star'ın CML metodolojisi ve Tally'nin TRACI sistemi) üzerinden elde edilen çıktılar karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Mimari yazılımların kullandığı değerlendirme metodolojileri arasındaki farklılıklar nedeniyle benzer girdilerle üretilen sonuçlar arasında kısmi uyumsuzluklar gözlenmiştir. Bu nedenle çalışma, yalnızca dijital simülasyonlara dayalı kalmamış; aynı zamanda sektörel uzman görüşlerine de başvurulmuştur. Düzce ilinde faaliyet gösteren inşaat sektöründeki profesyonellere uygulanan anket çalışması sonucunda Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle malzeme tercihleri değerlendirilmiştir. AHP sonuçlarına göre; Gazbeton Blok birinci, Bims Blok ikinci ve Pişmiş Kil Tuğla üçüncü sırada yer almıştır. Sonuç olarak bu çalışma; yapı sektöründe sürdürülebilirlik odaklı malzeme seçiminde BIM tabanlı karar destek sistemlerinin etkinliğini ortaya koymakta, dijital modelleme araçlarının karşılaştırmalı analizini sunmakta ve yapay zekâ destekli bir BIM perspektifine doğru ilerleyen sürece katkı sağlamaktadır. Hem ileriye dönük (akıllı şehirler, otonom sistemler) hem de geriye dönük (topografya, afet verileri, geleneksel yapı bilgisi) entegrasyonun gerekliliği, BIM'in evrilen doğasında bütüncül bir yaklaşıma ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), Sürdürülebilir İnşaat, Dış Duvar Malzemeleri, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

ABSTRACT

INVESTIGATION OF A BUILDING PRODUCED WITH COMPOSITE EXTERIOR WALL MATERIALS IN TERMS OF GREEN BUILDING INFORMATION MODELING

Nihal BENLİ
Düzce University
Graduate School, Department of Composite Material Technologies
Doctoral Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Latif Onur UĞUR
July 2025, 224 pages

Today, the implementation of sustainability principles in the construction sector is of great importance in terms of reducing environmental impacts and effective use of natural resources. In this context, Building Information Modeling (BIM) stands out as an innovative functional tool that supports sustainable construction practices by enabling knowledge-based decisions to be made at all stages of the design, construction, operation and life cycle of buildings. The main purpose of this doctoral study is to evaluate exterior wall material selections in terms of environmental performance by using BIM-based simulation methods in line with the sustainable construction approach. In this context; Three different alternative exterior wall materials—Burnt Clay Brick, Aerated Concrete Block, and Pumice Block—which are widely used in Turkey and can be produced with domestic raw materials—were selected and their energy performance and environmental impacts were analyzed comparatively. In the first stage of the study, a typical duplex residential building planned to be built in Düzce was modeled in digital environment using BIM simulation tools. In this process, building information models were created using both ArchiCAD 27 and Revit 2024 software. For Life Cycle Assessment (LCA) simulations, EcoDesigner Star integrated into ArchiCAD software and Tally plug-ins integrated into Revit software were used. Thus, the outputs obtained from the environmental impact assessment systems of both software (EcoDesigner Star's CML methodology and Tally's TRACI system) were compared and analyzed. Due to the differences between the evaluation methodologies used by architectural software, partial incompatibilities were observed between similar inputs and the results produced. For this reason, the study was not only based on digital simulations; At the same time, sectoral expert opinions were also consulted. As a result of the survey applied to the professionals in the construction sector operating in Düzce, material preferences were evaluated with the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. According to the AHP results; Aerated Concrete Block ranked first, Pumice Block ranked second and Burnt Clay Brick ranked third. As a result, this study; It reveals the effectiveness of BIM-based decision support systems in sustainability-oriented material selection in the construction sector, offers a comparative analysis of digital modeling tools and contributes to the process moving towards an artificial intelligence-supported BIM perspective. The necessity of both forward-looking (smart cities, autonomous systems) and retrospective (topography, disaster data, traditional building knowledge) integration shows the need for a holistic approach in the evolving nature of BIM.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Sustainable Construction, Exterior Wall Materials, Life Cycle Assessment (LCA), Analytic Hierarchy Process (AHP), Green BIM

EXTENDED ABSTRACT

INVESTIGATION OF A BUILDING PRODUCED WITH COMPOSITE EXTERİOR WALL MATERIALS IN TERMS OF GREEN BUILDING INFORMATION MODELING

Nihal BENLİ
Düzce University
Graduate School, Department of Composite Material Technologies.
Doctoral Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Latif Onur UĞUR
July 2025, 224 pages

1. INTRODUCTION

The aim of this study is to understand and evaluate the concept of BIM (Building Information Model), how it is currently applied in the world, to understand its limits and future direction, and to examine its adaptability to our country. While examining the concept of BIM, the effect of sustainability could not be avoided, and lean construction concepts were reached with the impression of the effect of sustainability.

In order to understand the subject of BIM, a literature article review on the concept of BIM was needed at the introduction of the thesis. Scopus electronic data journal base was used as the data source. There were 114 articles focusing on 4D (Time management) and 5D (Cost estimation management) of BIM. Using CiteSpace (2021) and VOSviewer (2021), which are open access programs that conduct literature review, a search was made according to time and cost management among the keywords and abstracts of the articles. These keywords are clustered in order of priority appropriate to the level of emphasis. During the literature review, the same clustering was not found between the two software. However, some overlaps have been identified. Therefore, the human eye factor was put into play, and individual articles were examined.

When the literature is reviewed, the concept of sustainable construction, which is at least as effective as BIM, has also emerged. Sustainable construction consists of a Life Cycle Assessment (LCA). LCA aims to achieve maximum efficiency with minimum raw materials and minimum waste in the global warming crisis.

2. MATERIAL AND METHODS

As a result of the research described above, the concept of "Green BIM" was encountered. Green BIM consists of BIM and LCA. The concept of "Green BIM" was tied to 14 criteria due to the article review defined. Green BIM consists of two main branches: WBS (Work Breakdown Structure) and LCA. The BIM branch was divided into direct impact and indirect impact branches. When WBS is taken into account, all criteria are in total; LCA branch design, construction, maintenance and repair, demolition, LCA application; Cost, quality management and logistics (supply chain), inventory management, BIM applications in the direct branch of BIM; The indirect branch of BIM consists of isolation, worker and equipment management, workplace and worker safety management, and finally earthquake and ground properties.

The content of this study is to examine the efficiency arising from the use of alternative exterior wall facilities in the sustainable building system. For this purpose, external walls made of burnt clay bricks, aerated concrete blocks and pumice stone blocks, which are created by using raw materials extracted in our country and used as a close alternative, are discussed. To give an example, a duplex building planned to be built in Düzce was first modeled with Graphisoft's ArchiCAD 27 (2023) version as BIM software, and the exterior wall energy performances of the building were evaluated with the EcoDesigner Star add-on inside. This modeling process has been repeated with Autodesk's Revit 2024 (2023) version. This modeling process was intended to be re-examined with Autodesk's Tally (2024) add-on program, which is compatible with the Revit 2024 version. As a result of the literature review results and the exterior wall modeling process with architectural software, the research could not reach a clear point. It was decided to apply the Analytical Hierarchy Process (AHP) to conclude the research.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

22 Construction’s experts from Düzce province participated in the survey in which the AHP method was applied and expert opinions were taken. Of these, 5 are academicians, 7 are architects and 10 are civil engineers. With these data, a modeling and sequencing based on the AHP approach was carried out. Although the results of these calculations and analyzes are close to each other, the preferred composite exterior wall material is the composite wall made of aerated concrete block with 38%. In second place was the composite exterior wall made of pumice stone block with 32% and the composite exterior

wall core made of burnt clay brick with 30%.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK

As a result of this research, there is no simulation software program suitable for both the TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts) system used by North America and the CML (Centrum voor Milieukunde Leiden) system used by Europe, which may be popular in the evaluation of both BIM and LCA in terms of "Green BIM". It seems that it is too early to implement green BIM from the digital world to the real world. Most architectural software programs are able to examine Green BIM more as a mass design rather than based on project design. It has been observed that software programs and their add-ons have not yet reached the desired and needed level in terms of holistic structure modeling. In order for this research to be developed, it should be expected that the programs will become more compatible with BIM and LCA. There are a lot of good programs that do these two separately; but this is contrary to BIM's holistic approach.

One of the most important conclusions of AHP regarding BIM is that earthquake and ground properties must also be processed from BIM. BIM has grown enough with its latest dimensions. The expectation from the next BIM is that it can grow backwards, that is, it can develop an advanced GIS network, and in forward growth, it can be managed from the central government in natural disasters as a smart city.

1. GİRİŞ

Bu tezin birincil önceliği; BIM (Building Information Modelling- Yapı Bilgi Modellemesi) kavramının doğru anlaşılması ve değerlendirilmesi, dünyada güncel olarak nasıl uygulandığının, sınırlarının ve ileriye yönelik gidişatının kavranması ve ülkemize adapte edilebilirliğini incelemektir. BIM kavramının genişliği ve sürekli gelişmesi yüzünden kavram sürekli evrimleşmektedir. BIM kavramını incelerken sürdürülebilirlik etkisinden uzak kalınamamış ve sürdürülebilirlik etkisinin verdiği etkiyle yalın inşaat kavramına ulaşılmıştır.

BIM konusunun kavranabilmesi için tezin girişinde BIM kavramı üzerine bir literatür taraması ihtiyacı görülmüştür. Bu bağlamda, çeşitli bilimsel dergilerin bulunduğu yayın indeksi yayıncıları incelenmiştir. Bu inceleme esnasında en çok WoS (Web of Science) ve Scopus yayıncıları üstünde durulmuştur. Literatür taraması yapan açık erişim kaynak olan CiteSpace (2021) ve VOSviewer (2021) programları kullanılarak zaman ve maliyet yönetimine göre makalelerde geçen anahtar kelimeler ve özetleri içerisinde tarama yapılmıştır. Bu anahtar kelimeler, vurgu düzeyine uygun olarak konular kümelendirilmiştir.

BIM üzerine yapılan literatür taraması sonucunda Sürdürülebilirlik ve Yalın İnşaat kavramlarının da sıklıkla BIM ile geçtiği tespit edilmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar BIM konusuna yapay zekanın temalarının da sıklıkla anıldığı gözlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı sürdürülebilir inşaat sisteminde alternatif dış duvar malzeme alternatiflerinin kullanılmasıyla doğan enerji verimliliğini incelemektir. Bunun için ülkemizde çıkarılan hammaddelerin kullanılmasıyla oluşan ve yakın alternatifler olarak kullanılan Pişmiş Kil Tuğla, Gazbeton Blok ve Bims Bloktan yapılan dış duvarlar ele alınmıştır. Örnek olarak Düzce ilinde yapılması planlanan bir dubleks yapı; BIM aracı olarak ilk önce Graphisoft firmasının ArchiCAD 27 (2023) versiyonuyla modellenmiştir. Bu modelleme işlemi Autodesk firmasının Revit 2024 (2023) sürümü ile de tekrar yapılmıştır. LCA (Life Cycle Assessment-Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi) Simülasyon aracı olarak ilk önce Graphisoft firmasının ArchiCAD 27 versiyonun içinde yer alan EcoDesigner Star eklentisiyle dış duvar etkileri değerlendirilmiştir. Bu modelleme işlemi ikinci olarak Autodesk firmasının Revit 2024

sürümü ile uyumlu çalışan Tally (2024) ilave program ile tekrar modellenmiştir. Bu işlemin iki kere yapılmasının nedeni; Tally programı sürdürülebilirlik etkisi olarak tanımlanan TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts) sitemini kullanırken, EcoDesigner Star CML (Centrum voor Milieukunde Leiden) sistemini tanımlayarak modeli kurmasıdır. Ortak paydaları olduğu kadar farklı paydaları da olan bu sistemler tam olarak simülasyonda karşılaştırılamamaktadır. Alternatif kompozit dış duvar malzemesi seçimine yönelik olarak villa modelinin oluşturulduğu Düzce ilinde sektör uzmanlarına yönelik bir anket hazırlanmış ve uygulanmıştır. Bu anket literatür taramasından "Green BIM" (Yeşil Yapı Bilgi Modellemesi) kavramının araştırılmasıyla oluşturulmuştur.

"Green BIM" kavramı makale taraması sonucu 14 kritere bağlanmıştır. Green BIM; BIM ve LCA olarak WBS (Work Breakdown Structure-İş Kırılım Yapısı) iki ana dallarından oluşmaktadır. BIM dalı direkt etkili ve dolaylı etkili dal olarak ikiye ayrılmaktadır. WBS dikkate alınarak toplamdaki tüm kriterler; (LCA dalı) tasarım, inşaat, bakım ve onarım, yıkım, LCA uygulaması, (BIM direkt dalı) maliyet, kalite yönetimi ve lojistik (tedarik zinciri), stok yönetimi, BIM uygulamaları, (BIM dolaylı dalı) izolasyon, işçi ve ekipman yönetimi, işyeri ve işçi güvenliği yönetimi ve son olarak deprem ve zemin özellikleri yer almaktadır. Bu anket yoluyla uzman görüşü alma işlemi Düzce ilinden 22 uzmanın katılımıyla gerçekleşmiştir. Bunların 5'i akademisyen, 7'si mimar ve 10'u inşaat mühendisidir. Bu verilerle AHP (Analytical Hierarchy Process-Analitik Hiyerarşi Süreci) yaklaşımı esas alınarak bir modelleme ve sıralama gerçekleştirilmiştir.

Revit, Archicad ve TGUB.exe (Türkiye Gazbeton Uygulama Birliği, 2023) simülasyon sonuçları da kendi içlerinde değerlendirildiğinde SuperDecisions (2023) programı ile AHP analizi sonuçlarına yakın sonuçlara varılmıştır.

Sürdürülebilirlik dışında kompozit dış duvarların alternatiflere göre ihtiyaç duyulan malzeme miktarlarını belirlemek için metraj hesapları çıkarılmak istenmiştir. Metraj hesapları ise Revit, Archicad ve Tally programıyla tamamlanmıştır. "As built" (İnşaa edildiği gibi) kavramına göre yapı yapılmadan önce yapının tasarımı ve toplam malzeme miktarı farklı kompozit yapı malzemelerine göre dış duvarların Malzeme İhtiyaç Listesi Tally (2024) programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Tezin ikinci bölümünde BIM kavramı ve detay seviyeleri verilmiş ayrıca en önemli kısım olan BIM boyutlarının güncel hali üzerinde durulmuştur. Son zamanlarda BIM

boyutları genişlemiştir. Bölüme son olarak günümüzün en popüler konusu olan Yapay Zekayla olan ilişkisi literatür taramasıyla desteklenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde Sürdürülebilir İnşaat kavramları incelenmiş ardından ürün bazında irdelemesi yapılmış olup, LCA kapsamında Yeşil bina sertifikasyonları verilmesi ve Çevresel Etki bakımından TRACI ve CML sistemleri de incelenmiştir. Sürdürülebilir İnşaatın varacağı nihai nokta, Yalın İnşaata vardığı için bu kavram da burada bahsedilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde dış duvar çekirdeği alternatifleri verilmiş ve bu malzemelerden oluşan dış duvarların üç boyutlu diyagramları ve detayları oluşturulmuştur. LCA'nın TRACI ve CML uygulama sistemleri sonuçları kıyaslanabilecek verilerle değerlendirilemediği (kıstasları ve çıktıları farklı olduğu için) için AHP yöntemine başvurulmuştur. Bu yöntemi uygulamak için uzman görüşü almak için hazırlanan anket çalışmasının kriterleri belirlenmiştir.

Tezin beşinci kısmında; çalışmada kullanılan her iki uluslararası simülasyon programlarıyla yapılan fiziksel ve çevresel özellikler verilmiştir. Ek olarak Türkiye'de bulunan Türk Gazbeton Uygulama Birliğinin yaptığı TGUB.exe programında Türkiye için kullanılmakta olan malzemelerden oluşan kompozit dış duvarının, U değeri (Heat Transfer Coefficient - Isı iletkenlik Katsayısı) hesaplamasının kolayca yapılmasını hedeflemektedir. Archicad programında ise kendine ait bir inşaat malzemesi veri tabını platformundan EPD (Environmental Product Declaration-Çevresel Ürün Beyanı) verilerini çekmektedir. Bu verilerden sadece beş adeti veri girdisi olarak kullanılmaktadır. İnternet sitesinin zaman içinde yenilenmesiyle birlikte değişen EPD değerleri yüzünden İnternette kullanılacak olan Kil Tuğla, Gazbeton ve Bims Bloklar için EPD taraması yapılıp Gazbeton ve Bims Blok için Türkiye'ye ait tanımlı Çevresel etkilerin verilerine ulaşılmıştır. Kesin olan bu veriler TGUB.exe programındaki yoğunluklara göre oranlanarak örnek villada kullanılacak olan dış duvar çekirdek malzemesi özellikleri ulaşılmıştır. Çevresel etki incelenirken Archicad programı yapıya bütünsel yaklaşıp ısıtmak için gerekli olan ısıtma ve soğutma ihtiyaçları üzerinde duran tüm yapıya ait bir yaklaşımla rapor hazırlamaktadır. Archicad CML sistemine göre kullanıcısına veri girdisi yapma şansı vermektedir. Program bina metrekaresine düşen U değeri ve karbon ayakizine bir ortalama değer vermektedir. Revit raporlama sistemi kompozit duvar malzemesini program içinde tanımlandığında duvar kalınlığını da ele alarak kendi içinde duvarın U değerini hesaplamaktadır. Bu U değeri TGUB.exe ile karşılaştırılabilir olmasına karşın Tally eklentisi ile Kuzey Amerika eyaletlerini baz alan

bir sistemler tüm inşaatta kullanılan malzemelerin çevresel etkilerinin TRACI yöntemiyle Tally'nın sabit tanımlanmış çevresel etki verileriyle değerlendirilmektedir. TRACI ve CML yöntemlerinin farklı yaklaşımlar olması analiz kısmının uzamasına sebep olmuştur. Sonuç olarak, AHP yöntemi kullanılarak anket aracılığıyla alınan uzman görüşü sonuçlarının değerlendirilmesi çalışmada uygulanmıştır.

Tezin son ve altıncı bölümü olan sonuç ve öneriler kısmında Yapılan simülasyon programlarının kolaylıkları ve zorlanılan kısımlar belirtilmiştir. AHP çalışmasından doğan kriter araştırmasıyla BIM boyutlarının tekrar değerlendirmesi ele alınmaktadır.

2. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ

"Yapı Bilgi Modellemesi- Building Information Model-(BIM)"; manası binanın inşaatını tasarım öncesi sürecinden başlayarak tesisin yapılması, işletilmesi dahilinde yaşam döngü yönetimin içerisinde bina enerji kullanım tahminini etmek, oluşan engelleri aşmak ve hatta akıllı bina tasarımına olanak sağlayan bir simülasyon aracıdır (Durdyev vd., 2022). Bir başka deyişle; BIM inşaat sektöründe bilgisayar destekli çeşitli tasarım algılarının ve yöntemlerinin son teknolojiye göre kullanılarak inşaatı gerçeğe döndürmek amaçlı bir işbirlikçi platformdur (L. Li vd., 2021).

2.1. BIM KAVRAMI

BIM kavramı son 20 yılda inşaat sektöründe devrim yaratmıştır. BIM, yapı projesinin 2D taslak hazırlamanın ilk günlerinden itibaren 3D modellemesine geçiş yaygın olarak benimsenmesiyle verimliliği, iş birliğini ve proje sonuçlarını iyileştirmek için sürekli olarak geliştirildi (A400, 2023).

BIM, sürdürülebilir sahada ve lojistik yönetiminde verdiği imkanlarla proje maliyetlerinin, malzeme ihtiyaçlarının, malzeme atıklarının ve karbon ayakizinin azaltılması yönünden tasarımın sürdürülebilirlik bakımından yardımcı olur (Krygiel & Nies, 2008).

BIM son zamanlarda çok popülerleşmiştir. Bunun dört ana sebebi vardır. Bunlar sırayla aşağıda verilmiştir (Özorhon, 2018; Sacks vd., 2018):

1. nD modelleme: 3 boyutlu halden başlayarak zaman, maliyet, sürdürülebilirlik ve benzeri boyutların eklenerek büyüme kapasitesinin olması,
2. Parametrik modelleme; yapı elemanlarının değişik detay seviyelerinde tasarım yapılabilinmesine olanak tanıması ve revizyonların hızlı bir şekilde yerleştirebilmesi,
3. Nesne yönelimli modelleme; duvar, kapı, pencere gibi yapı elemanlarının obje olarak tanımlanması,
4. Birlikte çalışabilirlik, yapının tasarımdan imalat ve hatta bakım ve onarım aşamalarında iç ve dış paydaşlar, karar verme mekanızmasını beraber

yürütmektedir. Bu da aynı model üzerinde işbirlikçi paydaşların uyumlu koordinasyonu ile mümkün olabilmektedir.

Dördüncü sırada belirtilen paydaşlar şematize edilmiştir (Şekil 2.1) (Integrated BIM, 2024).



Şekil 2.1. BIM işbirlikçileri, (Integrated BIM, 2024).

Ancak, A400soft web sayfasında yer alan BIM hakkındaki yazısında gelişmiş inşaat süreçleri arayışında, üçüncü boyutun ötesine geçilmesini ve daha kapsamlı bir yaklaşımı benimsenmesini vurgular. A400soft yazılımı Revit programının maliyeti, kalıp miktarını ve su boru tesisatını içeren farklı eklenti hesap metodlarını hesaplayan programcıklar barındırır (A400, 2023). Bu sayede daha iyi bir planlama ve programlamayı amaçlar.

BIM'ın CAD (Computer-Aided Design- Bilgisayar Destekli Tasarım)'ten farkı, her yapı elemanı kendi içinde malzeme özelliklerinin tanımlıyor olmasıdır. Bu yapı elemanına bağlı nesneler yapı elemanının yeri değiştirildiğinde bir daha tanımlanması gerekmeksizin yapı elemanıyla birlikte taşınmaktadır Yapı elemanı üzerinde bulunan nesnelerde yer değişikliği yapılsa da; ancak, bu nesneler yapı elemanından bağımsız bir yere taşınamamaktadır. Bu özelliğe, BIM'ın 'parametrik modelleme teknolojisi' adı verilmektedir. Buna örnek olarak duvar yapı elemanı üzerine kapı ve pencere açık durumdayken duvar taşınmak istenirse, program tarafından kapı ve pencere de yerlerini

koruyarak (kendi aralarındaki mesafeyi de koruyarak) taşıma işlemini gerçekleştirir. (Namlı vd., 2019).

2.1.1. BIM Kavramının Teknoloji Açısından Önemi

BIM kavramı bir yapıyı mikro bazlı incelense de bütünsel yaklaşımda bulunulduğunda makro bir çözüm sunmaktadır. Bu çözümlerden ikisi, Akıllı şehirler (Smart City) ve GIS (Geographic Information System - Coğrafi Bilgi Sistemi) olarak aşağıda verilmiştir.

2.1.1.1. Akıllı Şehirler

Akıllı şehirler, sadece akıllı binalar yapmaktan geçmez; akıllı yapılaşmadan da geçer. Bu yaklaşım, ne kadar üst yapı için geçerliyse alt yapı için de o kadar geçerlidir. Akıllı altyapı kavramı ile en çok ulaşım kastedilmektedir. Günümüzde trafik sorunu gidermek için çeşitli yollara başvurulmaktadır. Bu yollar; gerek otobanlarla, gerek metro çözümleriyle, gerekse havalimanlarıyla gündeme gelmektedir. Doğanın dengesinin korunması için akıllı çevre projelerinin de bu akıllı şehir projesinin içine dahil edilmesi gerekmektedir. Böylece doğal kaynaklar korunmuş ve yeşile zarar verilmemiş olunur. Akıllı şehir kavramı afet ve acil durum yönetiminin de ele alınması gerekir; bunun bir diğer yanı altyapının akıllı ve sürekliliği takip eden şekilde planlanmasıdır. Küresel ısınma kriziyle dünyanın baş edebilmesi için, pasif ev teknolojisine geçerek sürdürülebilir bir dünya inşaa edilmesi gerekmektedir. Pasif ev, dış ortamdan en az enerji kaybına yol açan, iyi izole edilmiş ve kendi enerjisini gerek güneşten gerek rüzgardan temiz enerji sağlayan evlerdir (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

2.1.1.2. GIS Modeli

Son 20 yıldır, GIS ve BIM'in beraber yürütülmesi büyük ilgi görmektedir. Uzmanların bu ikisini beraber yürütmesini seçme amacı, bütünleşik bir bilgi sistemi oluşturmaktır. Bu sistemin kullanıldığı alanlar; bina ve inşaat analizi, şehir planlaması, turizm, kadastro, ülke güvenliği vb. konulardır. Sanal şehirler yaratarak gerçek dünya modelinin şematik yapısına ulaşmak istenmektedir. Tasarım ve gerçek dünyadaki en önemli iki semantik (yani anlamsal) model şu anda IFC -Industry Foundation Classes- ve CityGML'dir. IFC modellerden City GML'e geçişle ilgili Işıkdağ ve Zlatanova'nın eşleşmeleri otomatik dönüşümleri hakkında tanımlamaya yönelik çalışmaları mevcuttur. IFC model, objeleri kendi içlerinde tanımlar. CityGML model ise tanımlanan objeleri genel kullanıma uygun veri bankasını içinde barındırır. (Isikdag & Zlatanova, 2009).

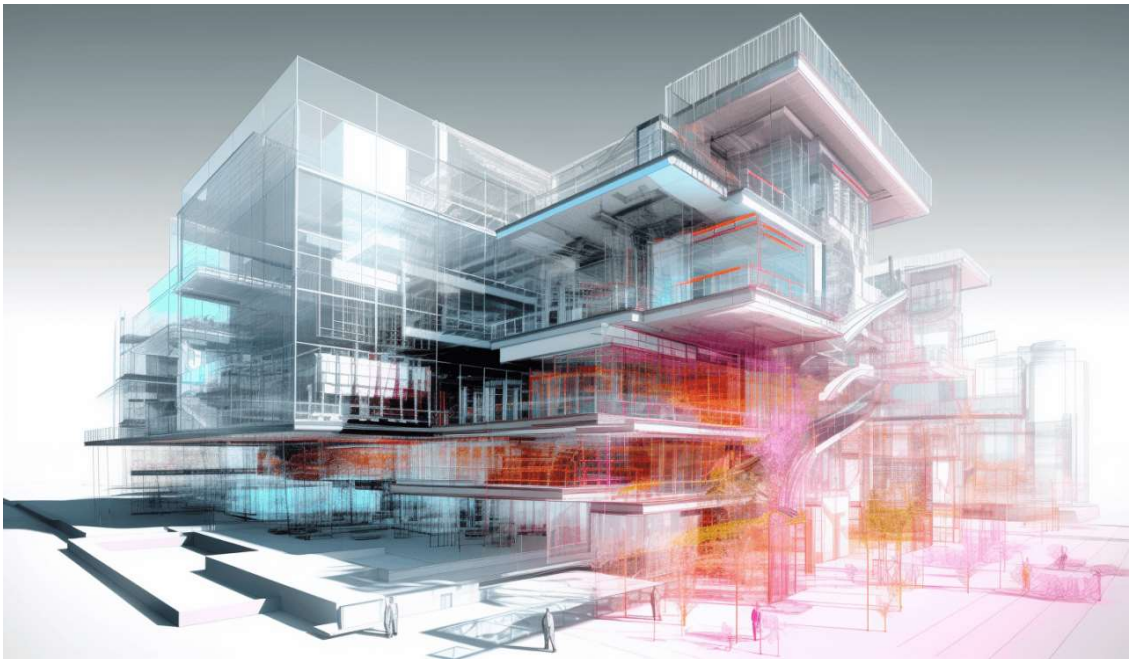
CityGML; şehirlerin coğrafi konumuna göre 3D özelliklerin ve nesnelerin çoğunu (binalar, yollar, nehirler, köprüler, bitki örtüsü ve şehir mobilyaları gibi) bulunduran ve bunlar arasındaki ilişkilerin tanımlandığı bir simülasyon programıdır. Bu simülasyon, kentsel veri madenciliği ve tesis yapılırken detay seviyelerinin de içinde bulundurulduğu bir sistemdir. CityGML veri kümeleri bir dizi XML bilgi tabanlı bir modellemedir. Bunlar, dokular olarak kullanılan bazı eşlik eden görüntü dosyalarından oluşur (Wikipedia, 2021). Bu programla sanal şehir modelleri geliştirilmektedir (Yalova valiliği, 2016).

CityGML Özellikleri şunlardır (Yalova valiliği, 2016):

- Geometrik olarak farklı detay ve doğruluk (ihtiyaca göre ölçeklenebilir yapı)
- Semantik bütünlük
- Topolojik olarak bütünleşik yapı
- CityGML ADE (Uygulama Alan Uzantısı) aracılığıyla ek ihtiyaçların karşılanması

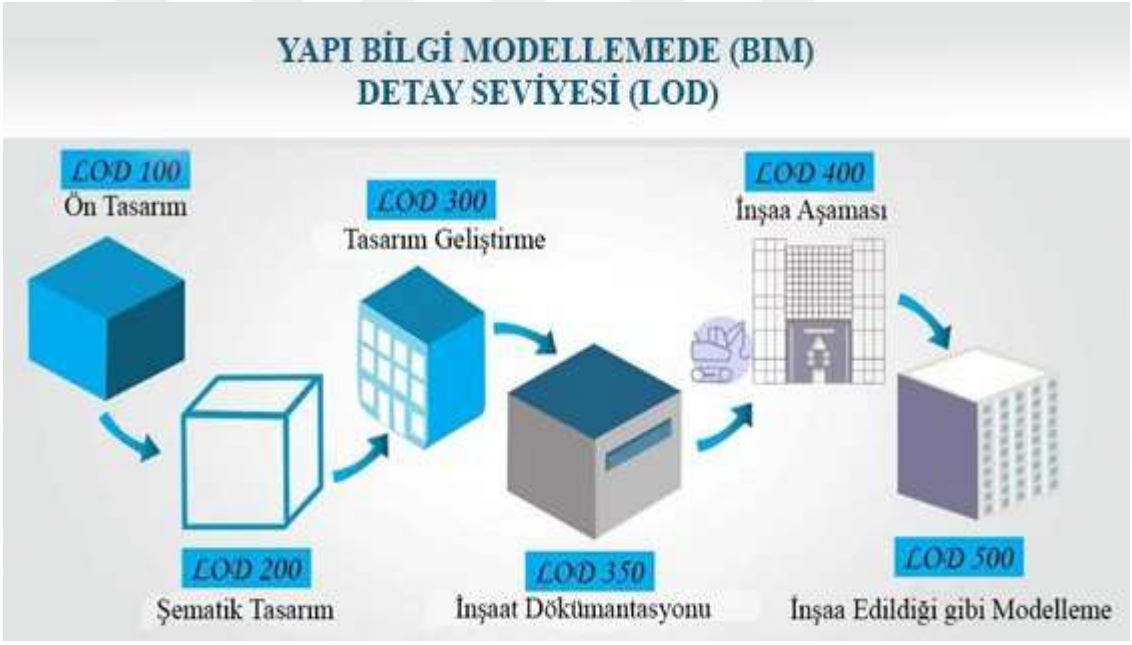
2.1.2. BIM Detay Seviyeleri (LOD) ve Anlamı

LOD- Level of Details-ilk olarak 2008 yılında Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA) tarafından BIM modelinin 5 ayrı gelişme seviyesine göre tanımlanmıştır.



Şekil 2.2.Kavramsal Örnek Bina Resmi, (ShipProjects, 2023)

LOD seviyeleri BIM açısından bilgi içeriği olarak çok önemlidir. LOD seviyelerinin öneminin anlaşılması için Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Şekilde bütünsel bir yapının çizgisel halinin yanında ilk olarak kütlesel hali verilmiş; merdiven, kapı, pencere ve balkon detay seviyeleri gösterilmiştir. Binanın tesisat ve dış cephe kaplama detayları da görülmektedir. Şekil 2.2'de LOD seviyelerinin anlaşılması için sadece çizgisel formların kullanıldığı alanlarda model üzerinde gösterilmiştir. LOD modelinin ne kadar ayrıntı ve bilgi hassasiyeti taşıyacağına, LOD seviye düzeyi karar verir. LOD seviyeleri 100 ile 500 arasında değişen detay seviyelerine sahiptir. Bu LOD modeller arasında detay seviyesi yükseldikçe birbirinden geçiş ve inşaatı gerçeğe dönüştürmek için yapılan hesaplar kolaylaşmaktadır. Şekil 2.3'de Yapı Bilgi Modellemesine ait detay seviyeleri görsel olarak verilmiştir. Bir yapının, tasarım aşamasından başlayıp inşaat süresinin sonuna kadar olan süreyi de içeren bir planlamayla yola çıkıldığını göstermektedir.



Şekil 2.3.BIM Detay Seviyeleri, (TEJJY, 2025).

LOD seviyeleri tipik olarak 100 ila 500 arasında değişir ve her seviye farklı bir ayrıntı ve hassasiyet derecesi sunar.

LOD seviyesi ne kadar yüksekse, BIM modeli o kadar detaylı ve inşaat aşamasında lazım olan bilgiye o kadar yakındır. İnşaat süreci boyunca hangi LOD derecesinin kullanılacağını seviyeyi seçmekle; verimli işbirliği, tasarım koordinasyonu ve etkili karar alma süreci sağlanmaktadır (ShipProjects, 2023). Mevcut LOD seviyeleri Şekil 2.4'de verilmiştir. Bu LOD seviyeleri aşağıda açıklanmıştır:

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Performans gereklilik-lerini ve saha özellik-lerini içeren şablon Taban alanı ve hacmi de dahil olmak üzere tüm binanın incelen-mesinde kullanışlı kavramsal kütle modeli yönlendirme. ilk maliyet tahmini ÖN PROJE	Yaklaşık nicelikler, boyutlar, şekiller,ko-numlar ve yönelimler içeren genelleştirilmiş sistemleri içeren model NİHAİ PROJE	Üretim veya ön inşaat modeli ve "Tasarım amacı" için Daha doğru maliyeti tahmini için kullanışlı doğru ve koordineli bir model UYGULAMA PROJESİ	Belirli yapı gereksi-nimleri ve yapı ele-manlarına sahip doğru model	Bina projesinin inşaa edildiği haliyle gösteril-diği "as built" -"inşaa edildiği gibi" model-

Şekil 2.4. Şematik olarak BIM'ın LOD seviyeleri, (Martini, 2017).

2.1.2.1. LOD 100: Kavramsal Tasarım

LOD 100'de, BIM modeli en temel geliştirme seviyesini gösterir. Binanın genel şekli, boyutu ve mekansal ilişkilerinin genelleştirilmiş bir temsiline odaklanılır. LOD 100 modelleri bir başlangıç noktasıdır; belirli ayrıntılardan ve ölçümlerden yoksundur ama ön tasarım tartışmaları, vaziyet planı ve şematik görselleştirme için yeterli bir seviyedir (ShipProjects, 2023).

2.1.2.2. LOD 200: Kavramsal Gelişim / Yaklaşık Geometri

LOD 200'e geçildiğinde, model duvarlar, kapılar, pencereler ve diğer mimari bileşenler gibi doğru ve ölçülebilir unsurları genel olarak içermeye başlar. LOD 200 modelleri tasarım geliştirme aşamasında işlevsel gereksinimleri belirlenirken kullanılır. Miktar belirleme (gerek sayı, gerekse yaklaşık kg) ve maliyet için yeterli sayılabilir düzeydedir. (ShipProjects, 2023).

2.1.2.3. LOD 300:Ayrıntılı Tasarım / Hassas Geometri

LOD 300; 3D BIM modeli olarak kısaltılmaktadır (BIMLEAD, 2025). Model elemanları, proje modeli içerisinde miktar, boyut, şekil, konum ve yönlendirme açısından belirli bir sistem, nesne veya montaj olarak grafiksel olarak bulunur. Bu grafiksel verilere, grafiksel olmayan bilgi verisi de eklenebilir (Bimteknoloji, 2019). Bu aşama uygulama projesi detay seviyesindedir. (Martini, 2017).

2.1.2.4. LOD 350: Yapı Dökümantasyonu / Bağlantılı Hassas Geometri

Model içerisindeki yapı elemanı, model içerisinde belirli bir sistem, nesne veya montaja imkân veren verileri içerir. Bunlar miktar, boyut, şekil, yönlendirme ve diğer bina sistemleriyle arayüzler olarak grafiksel olarak gösterimleridir. İhtiyaç duyulacak malzemelerin özellikleri belirlenir (Bimteknoloji, 2019). İnşaata dönük bilgileri daha ayrıntılı bir biçimde içerir.

2.1.2.5. LOD 400: İnşaat Dokümantasyonu / Üretime Hazır Geometri

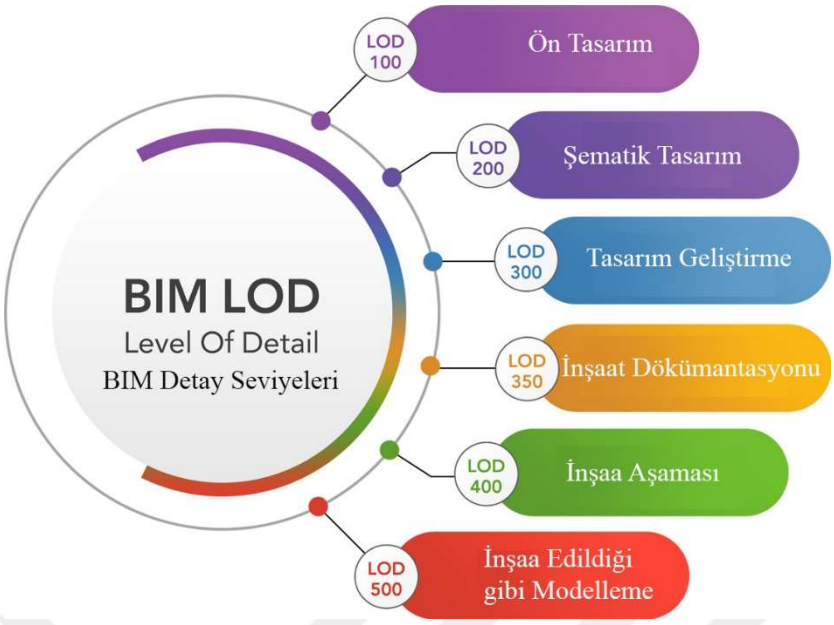
LOD 400, BIM modelleri inşaat ilerledikçe doğru ve kapsamlı inşaat dokümantasyonu oluşturmak için çok önemli hale gelir. LOD 400, gerek yerinde inşaat gerekse prefabrik inşaatta; yapının bileşeni hakkında boyutlar, teknik özellikler ve montaj detayları gibi kesin bilgiler içermek zorundadır. Detaylı imalat çizimlerinin, imalat dosyalarının ve inşaat sıralamasının oluşturulmasını proje başında ve içinde akışının geliştirilmesi önceliklidir (ShipProjects, 2023). 4D ve 5D BIM hesaplarını dahil ettiği düşünülmektedir (BIMLEAD, 2025). Proje için tedarikçiler belirlenmiş ve BEP (BIM Execution Plan – Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı) dokümantasyon istekleri yapılmıştır. (Will Ikerd, 2020).

BEP, bütünleşik proje yönetimini sağlamak için inşaatta kullanılacak malzeme miktarı, depolama koşulları, malzeme ihtiyaç planının oluşturulduğu ve kimin hangi işi yapacağı alt yüklenicilerin belirlendiği bir sözleşme yönetimidir. İş hakkında tüm bilgileri içerir, hangi işyeri güvenlik tedbirlerinin alınacağı ve malzeme kalitesinin, işçi sayısının ve iş sürelerinin belirlenmiş olduğu bir işbirlikçiler arası yapılan bir sözleşmedir. İşçilere hangi eğitimlerin verileceği, hangi yenilik ve teknolojilerin kullanılacağı bu sözleşmede bulunmalıdır.

2.1.2.6. LOD 500: As-Built ve Tesis Yönetimi / Operasyonel-İnşaa Edildiği Gibi Model

LOD 500 tesis yapımı ve yönetiminde en yüksek geliştirme seviyesini temsil eder. Bu aşamada yaşam döngü analizi çerçevesinde bakım ve tadilatları içeren tesis yönetimini içerir. Yenileme ve güçlendirme projeleri bu model içindedir. LOD 500 dinamikliğini her zaman korumalıdır (ShipProjects, 2023). Yapı durum olarak da adlandırılır ve 6D (BIM boyutlarından Sürdürülebilirlik) ve 7D (Tesis yönetimi)'yı içerdiği varsayılır (BIMLEAD, 2025).

Bu yapı Şekil 2.5'te şematik olarak LOD adlandırılması verilmiştir.



Şekil 2.5. BIM Detay seviye gösterim sırası, (BIMLEAD, 2025).

2.1.3. BIM Boyutları

Koutamanis (2020) makalesinde yapı hakkında projeye ne kadar çok ayrıntı işlenirse, o ölçüde hatalı yapımın önleneceğini savunur. O yüzden makalesinde "as built and as-is information" (uygulanan ve mevcut bilgi)yi içinde bulundurmanın BIM açısından önemini anlatır (Koutamanis, 2020).

BIM, n-D modelleme ve sanal prototipleme olarak da kısaca adlandırılabilir. BIM sürekli gelişen bir n-D model olarak bazı bilgileri içermektedir. Bu bilgiler zamanla genişleyebildiği için n-D model denmektedir. Bu bilgiler zamanlama, maliyetlendirme, ulaşılabilirlik, suç unsuru oluşturacak riskleri azaltma, sürdürülebilirlik, bakım kolaylığı, akustik ve enerji simülasyonunu içerir (Kocakaya vd., 2019).

Özorhon (2018) kitabında BIM'e geçmenin önemini; tüm inşaat paydaşlarının yani tasarımdan yapıma kadar olan tüm katılımcılar arasında ayrı paket program kullanmanın açtığı problemin önüne geçmek olarak tanımlamaktadır (Özorhon, 2018). Burada KAPALI BIM ve AÇIK BIM modelleri açığa çıkmaktadır. Kapalı BIM'de firmanın farklı programları arasında bilgi kaybı olmadan geçiş sağlanmaktadır. Açık BIM'ı destekleyen IFC formatı ise tüm programlarda en az bilgi kaybıyla programlar arası geçiş sağlamaktadır (Kocakaya vd., 2019; Revizto, 2023).

4D ve 5D'yı incelerken sadece zaman ve maliyet yönetimi yönünden de konuyu sınırlandırmamak gerekir. Kalite, sağlamlık, güvenlik ve benzeri inşaat kalemlerinin de konuya dahil edilmesi önem arz etmektedir (Othman vd., 2021; Vycital & Jarský, 2020).

Bu yüzden inşaat yapım aşamasından tasarım aşamasına kadar uygun bir maliyet çıkması için kalite kaygısı, sürdürülebilirlik, işyeri güvenliği ve işçi sağlığı ve tesis yönetimi (bakım ve onarımı içeren) konuları da göz önünde bulundurulmalıdır (Vycital & Jarský, 2020).

BIM'ın standart boyutlarıyla son bir iki yılda eklenen yeni boyutları yer almaktadır (Şekil 2.6). BIM boyutlarının içerisinde eskiden incelenen bu kavramlar özelleşerek yeni anlam kazanmışlardır. Bu açıdan yeni boyutlar literatür tarama işlevinde yer alırken kendilerine BIM boyutlarında yer bulmuşlardır. Bu boyutların tümüne -yani standart ve yeni boyutlara- aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.6. BIM'e ait 10 boyut (BibLus, 2024).

2.1.3.1. 3D BIM Model

Bu model, bina modelinin görselleştirilmesinin üç boyutlu olarak yapılmasını temsil eder (Pleyer & Zettler, 2024). Oluşacak olan son ürünün geometrik ve mekânsal ilişkilerinin ve çakışmaların görselleştirilmesinden ibarettir. Geometrik modelleme olarak da adlandırılan bu boyut, son ürün olan binanın net bir görselleştirilmesiyle planlama doğruluğunun arttırılması yoluyla proje paydaşlarının arasındaki iletişimin hem düzenli hem kolay şekilde olmasını sağlar. 3D modelleme hem geometrik, hem de grafiksel bilgi içerir (BibLus, 2024). 3D modelleme bir başka deyişle, yapının fiziksel yapısının dijital halidir (Özorhon, 2018). Projeyi 3 boyutta herkesin kolayca anlaşabileceği duruma getirir (A400, 2023). Modelleme, Navisworks ve Solibri gibi paket program kullanımıyla tasarım süreci hızlandırılmaktadır (Eynon, 2016). Eynon ayrıca, IFC (Industry

Foundation Classes-Endüstriyel Temeli Sınıflandırma) kavramını vurgular; çünkü bu yazılımlar için ortak kullanıma açık bir dildir.

3D model kullanmanın amacı; mimarlar, mühendisler (inşaat, makine, elektrik ve harita mühendisleri vb.) çoklu disiplinden ekipler arasında daha iyi işbirliği sağlanması ve yapılan modelin gerçek zamanlı eş güdümlü hataların, tekrarların, müdahalelerin azaltılmasıdır (BibLus, 2024).

2.1.3.2. 4D BIM Model

Bu model, bina modelinin inşaat aşamaları boyunca inşaatın ilerlemenin planlanması anlamına gelen zaman yönetiminin uygulanmasını içerir (Pleyer & Zettler, 2024). Kısaca; 4D, 3D'ye zamanlama ve inşaat kalemlerinin sıralamasını ekler (A400, 2023). Bu boyutta, geleneksel sorunların çözülmesi için veri kaybı ve iletişim eksikliğinin üstesinden gelinmek istenmektedir. İnşaatta çalışan farklı ekiplerin arasındaki koordinasyonu sağlamakla kalmaz; bir de inşaat programındaki çatışmaların erken tespit edilmesini sağlar.

4D model de inşaat aşamalarının Gantt çizelgeleri, PERT grafikleri, kritik yol metodu gibi araçlarla zaman yönetiminin uygulanmasıdır (BibLus, 2024). Bu yöntemlerin kullanım amacı; proje tasarımcısından inşaat faaliyetindeki firmalara kadar olan iş akışında başlayan veri kaybının önüne geçme, inşaat sürecinde tedarikçiler arası iletişim eksikliğini giderme, inşaat malzemelerinin ihtiyaç tablosu ve depolama bilgilerini doğru yönetmektir. 4D'nın uygulanması için proje zaman çizelgesi WBS-Work Breakdown Structure- iş kırılım yapısıyla mümkündür (BibLus, 2024). 4D model oluşturmayı kolaylaştıran yazılımlar; MS Project, Primavera ve Astra vb. sanal ortamda işin süresini ve ekipmanı planlayan yazılımlardır (Eynon, 2016). Burada; iş makinaları, kamyonlar, vinçler de dahil malzemenin lojistik hareketi ve tedarik zinciri yönetimi planlanarak bütünleşik halde oluşturulmalıdır (Magill vd., 2020).

2.1.3.3. 5D BIM Model

Bu boyut, binanın modellemesi sırasında ihtiyaç duyulacak finansman gücünün ve bu finansman ihtiyacının kademelerinin belirlenmesini yani maliyet analizini içermektedir (BibLus, 2024; Pleyer & Zettler, 2024). Mimari programa yapı hakkında ne kadar ayrıntı, veri olarak işlenirse; üretim planlaması o kadar iyi hale getirilmiş olur. Binanın ortaya çıkan dijital modeli, yapım aşamalarına göre metraj ve maliyet tahminlerinin arasında doğrudan bağlantı kurulmasını sağlar. Projeyi tanımlayan kilometre taşları dikkate

alınarak maliyet tahminleri minimum ve maksimum değerler arasında tutulur (Pakhale & Pal, 2020). Bu model, kendi içerisinde farklı malzemelerle farklı senaryoların analizine gidilmesi yoluyla faaliyet ve maliyetlerin sıkı bir takibine olanak sağlar. 4D modele, 3D modellemeye göre maliyet verilerinin eklenmesiyle oluşur. Maliyet verileri; yapı malzemeleri ve tedarikçileri ve ayrıca inşaat ekiplerine yapılacak yatırım verilerini içerir (A400, 2023).

2.1.3.4. 6D BIM Model

Bu boyut, bir bina modelinin yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirliğini ve enerji verimliğini değerlendirme konusunda öne çıkmaktadır (Pleyer & Zettler, 2024). Sürdürülebilirlik, modern inşaatta çok önemlidir (A400, 2023). 6D boyutu içinde sürdürülebilirliğin ana başlıkları olan çevresel, ekonomik ve sosyal açılardan verimlilik konuları öne çıkmaktadır (BibLus, 2024). Güneşin durumuna göre binanın dış cephesinin dinamik enerji analizlerinin yapılması ile; hem mühendislik hem de teknoloji perspektifiyle oluşturulan sürdürülebilir çözümlere odaklanılmalıdır. Bu sayede, yüksek kalite ve konforun kullanıcılar tarafından enerji tüketimini azaltır (Pleyer & Zettler, 2024). Buna ek olarak; varlıklara yapılan yatırım akışını daha planlı ve bilinçli şekilde yönetilmesine aracılık eder.

6D BIM, tasarımcıların ve inşaatçıların oluşturduğu projelerin uzun vadede çevresel etkilerini değerlendirmelerine ve sürdürülebilir seçimler yapmalarına yardımcı olarak inşaatta kullanılan kalite anlayışına yeni bir boyut sağlar (A400, 2023).

Sürdürülebilirlik açısından atık yönetiminin, geri dönüşümünün gerçekleşmesi ve ayrıca yeşil bina üretimi ve sertifikasının ülkeler tarafından öncelik verilmesi gerekliliği, zaman içinde ortaya çıkmıştır (Guerra vd., 2020; Montiel-Santiago vd., 2020). İnşaat yönetiminde şantiyedeki inşaat sırasında oluşan çevresel atıkların bertaraf edilmesi için kule vinçlerin yönetilmesi bile çok önemli bir husustur (Guerra vd., 2020; Shou vd., 2021).

2.1.3.5. 7D BIM Model

Bu boyut, tesis yönetimi olarak da adlandırmak mümkündür. Model binanın tüm yaşam döngüsü boyunca yönetilmesini ve hizmet süresi boyunca bakımını içerir. Bu boyutta şartnameler, bakım kılavuzları ve garantilerle ilgili veri yönetimi bulunur. Bu veriler yönetilirken inşaat aşamasında dinamik değişimlere veya eklemelere açık olmalıdır (Pleyer & Zettler, 2024). Tesis yönetiminde sürekli izleme aşaması boyunca operasyonel

yönetim ve bakım optimizasyonu, varlıkların kolay yönetimi ve değiştirilebilirliğini verimlilik, güvenlik ve inşaat standartlarına uygunluğun sağlanması öne geçer. Özellikle; 7D BIM yazılım birleşenleri, yaşam boyunca hizmet yönetimi ve bakımını öngörerek planlar. Bu hizmet süresi veya inşaat sonrası aktiviteler boyunca bakım ve onarımı devre dışı bırakmak binanın hizmet süresini kısaltır (A400, 2023; BibLus, 2024; The BIM Engineers, 2023).

2.1.3.6. 8D BIM Model

Bu boyut, inşaatın güvenliğini sağlamak olarak da bakılabilir. İnşaatta güvenlik her şeyden önemli tutulmalıdır (A400, 2023). İnşaat yapımı sırasında oluşacak riskleri görmek ve engellemek için ihtiyaç duyulan güvenlik bilgilerinin tesis yönetimine entegre edilmesini içinde kapsar. Bu iş için sanal simülasyonlar da uygulanmaktadır (Pleyer & Zettler, 2024).

8D BIM model, geometrik modele güvenlik bilgisinin işlenebilmesinden geçmektedir ve ayrıca tasarım ve inşaat sırasında güvenliğin sağlanmasından geçmektedir. Model tasarımcılarının yapmış oldukları tasarımın bütününün kapsamlı bir risk değerlendirmesinin, inşaat başlamadan potansiyel tehlikelerin belirlenmesi ve bu engellerin ortadan kaldırılmasını ve ayrıca inşaat işçilerinin daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturulmasını sağlar. (BibLus, 2024; The BIM Engineers, 2023). İnşaat yönetiminde hem işçiler, hem iş makinalarının kullanımı için iş sağlığı ve işçi güvenliğinin sağlanması yani dinamik risklerin yönetilmesi projenin uygulanması bakımından kolaylık sağlar ve önem arz eder. (Moshtaghian vd., 2020; Swallow & Zulu, 2019). Bu modelin hayata geçirilebilmesi, mutlaka şantiyedeki işçilerin iş güvenliği açısından eğitilmesiyle mümkündür (BibLus, 2024).

2.1.3.7. 9D BIM Model

Bu boyut Yalın İnşaat olarak incelenmektedir. Verimliliği en üst düzeye çıkarmak için israfın en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. 9D'nın hedefi; azalan proje süresi, artan üretkenlik ve optimize edilmiş kaynak kullanımını içerir (Pleyer & Zettler, 2024). 9D BIM modelinde bir başka önemli nokta, inşaatta oluşacak bekleme sürelerini ve yeniden çalışmaya başlama işlemi gibi inşaat süreçlerinde bulunan atık alanlarının belirlenmesine ve iyileştirilmesine odaklanmasıdır (The BIM Engineers, 2023). 9D modelinde 4D modelinde geçen kaynak ve tedarik yönetiminin daha etkin bir biçimde kullanılması söz

konusudur. Ayrıca bu boyutta atık oluşumunu azaltmak öne çıkan bir amaçtır (BibLus, 2024). Bu yüzden, Yalın İnşaat başlı başına bir inşaat felsefesidir (A400, 2023).

2.1.3.8. 10D BIM Model

Bu boyut, Endüstri 4.0 ve otomasyon veya endüstriyel inşaat olarak adlandırılır (A400, 2023; Pleyer & Zettler, 2024). Dijital teknolojileri kullanarak, inşaat sürecinin tamamen endüstrileştirilmesini içerir. Bu yöntem; inşaat sürecinin tüm aşamalarında verimliliği ve üretkenliği artırmak için karmaşık görevleri otomasyonlaştırmayı ve verileri merkeziyetçi bir sistem içerisinde incelemektedir. Bu yöntem prefabrik modüller için özellikle süreci kolaylaştırmayı amaçlamaktadır (Pleyer & Zettler, 2024). Bir başka deyişle şantiye dışı inşaat yöntemlerinde ve prefabrikasyon sektöründe üretmek ve montaj yapmak için kullanılan yapı birleşenlerinin ayrıntılı dijital modellenmesiyle sağlanır. Bu modele en iyi örnek altyapı projeleridir (The BIM Engineers, 2023).
10D BIM modelinin proje yöneticisi açısından avantajları aşağıdadır (BibLus, 2024):

- Bina kabuklarının inşaat sürelerinin azaltılması
- Şantiye maliyetinin optimizasyonu
- İş güvenliğinin uygulanması
- Yeni nesil dijitalleşmenin inşaat kalitesini arttırması
- İleri, kodlanmış, garantilenmiş ve standartlaştırılmış süreçler her yapı malzemesinin her aşamasında hassas kontrollerin sağlanması
- Şantiye faaliyetlerini etkileyen olumsuz hava koşullarından etkilenmemesi,

Endüstriyel inşaatın; inşaat süreçlerini hızlandırmak ve daha yüksek kaliteli son ürün oluşturmak için uygulanmaktadır. Prefabrikasyon, modüllerleştirme ve gelişmiş üretim tekniklerinin kullanımı uygulama açısından önemlidir (A400, 2023).

2.1.4. BIM ve Yapay Zeka

Son yıllarda BIM içerisinde Yapay Zeka kullanımını artırma çabaları baş göstermektedir. İnşaat alanında tedarik zincirinin ve inşaat malzemelerinin yönetimi üzerine geliştirilmeye çalışılan algoritmalar vardır (M.-Y. Cheng & Chang, 2019; He vd., 2019). BIM platformunun yeniden tanımlanması ihtiyacı duyulmaktadır. Bu ihtiyacın doğma sebebi; Yapay Zeka -Artificial Intelligence- (AI), Makine Öğrenimi -Machine Learning- (ML), Nesnelerin İnterneti -the Internet of Things- (IoT), and 3D teknolojilerini harmanlayan yeni bir Sanal Gerçeklik- Virtual Reality- (VR) teknolojisi geliştirilmesidir (Altohami vd., 2021).

Yapay Zeka, günlük sosyal yaşam alanı faaliyetlerine aşırı derecede girmiştir. Bunun sebebi Bilgi ve İletişim Teknolojisi -Information and Communication Technology- (ICT) ve Robotik Teknolojisi -Robotic Technology-(RT) alanında birbiriyle bağlantılı gelişme göstermeleridir (Pan & Zhang, 2021).

2.2. BIM İLE İLGİLİ YAPILAN LİTERATÜR TARAMASI

Bu literatür taraması için gerçekleştirilen çalışma 2021 yılının sonuna doğru yapılmıştır (Uğur & Benli, 2022). O yüzden veriler 2020'ye kadar ele alınmaktadır. Amaç inşaat sektöründe dijitalleşmenin yeri ve bağlantıları arasındaki ilişki aramaktır. İnşaat sektörü, dünya genelinde sürdürülebilirlik açısından nasıl geriden gelmekteyse dijitalleşme açısından da geriden gelmektedir. Bu konuyu Türk inşaat sektörü bazına indirdiğimizde Aladağ'ın 2022 yılında yaptığı çalışmasında Türk firmaları anket sonuçlarında BIM'i ne kadar çok kullanıyor çıkmış olsa bile; artırılmış gerçeklik, blokzincir ve akıllı sözleşme gibi uygulamalara geçmedikleri ortaya çıkmıştır (Aladağ, 2022). Aladağ'ın vurguladığı bir başka konu ise itici unsurların hafife alınmasıdır. BIM'e sağlıklı geçişi sağlayacak olan kalite, doküman ve iletişim yönetimi olarak çalışmasında belirtir. Belirlenen bir diğer sorun ise yeterli ve yetkin personel olmaması ve tüm paydaşların (işbirlikçilerin) kendi aralarında oluşturmaları gereken entegrasyonun oluşturulamamasıdır.

2.2.1. Literatür Çalışmamızda 2022'ye Kadar Yapılan Araştırmaların Verilerinin Toplanma Yöntemi

Bu literatür taraması çalışmasına veri tabanlarınının nasıl değerlendirileceği araştırılmıştır. Mevcut çalışmalarda nasıl bir veri tabanı kullanılmak üzere hangi elektronik dergi yayınlayıcısının seçilmesi araştırıldı. ELSEVIER, EMERALD, EBSCO, WILEY, ASCE, CIB, SPRINGER, Taylor & Francis, ISPRS; IEEC Xplore, ACM Digital library, ITcon, Science Direct, ProQuest ve Google Scholar gibi pek çok veri tabanları mevcuttur (Gao & Pishdad-Bozorgi, 2019). En popüler BIM konusundaki elektronik veri tabanları SCOPUS ve WoS'tur. WoS (Web of Science) veri tabanı genel ve büyük bir veri tabanı olması ve konu üzerinde 2000 üzeri makale vermesinden dolayı kümelendirme işleminde Li ve arkadaşları tarafından (2017) sorun yaşadıkları vurgulanmıştır (X. Li vd., 2017). En popüler BIM konusunda kullanılan elektronik veri tabanları SCOPUS ve WoS'tur. Bunlar dışında; da araştırma yapılabilir. Veri analizi yapmak için birçok yazılım bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, Citespace, Vosviewer, Science of sciencetool (SCi2)

ve Bibexcel vb. programlarıdır (Andriamamonjy vd., 2019). Genel olarak bakıldığında makale çalışmalarında görülen en popüler literatür tarama programı VOSviewer'dır.Ancak veritabanı analizi yapan iki yazılım (CiteSpace ve VOSviewer programlarının arayüzü) ortak WoS ve SCOPUS'a göre veri girdisi sağlanmaktadır (Ansah vd., 2019). İnceleme sonucu SCOPUS ve WoS kendilerine göre birbirinden farklı numaralandırmayla makaleleri arşivledikleri görülmüştür. Bu yüzden veri tabanlarını birleştirmekte zorluk çekilmektedir. Birinden birinin tercih edilmesi yoluna gidilmesi mecburidir. Analiz kolaylığı için önceki makale taramalarından biri olan Shirowzhan ve arkadaşlarının çalışması gibi veri süzme işlemi SCOPUS'la yapılmıştır (Shirowzhan vd., 2020). O yöntemle yapılan araştırmaların çoğunluğunda ortak kullanılan analiz programı VOSviewerdi, araştırmanın değerlendirmesi için diğer makalelerden alınan ortak ürün VOSviewer modellemeleri kullanılacaktır.

2.2.2. Araştırmamızın Veri analizi

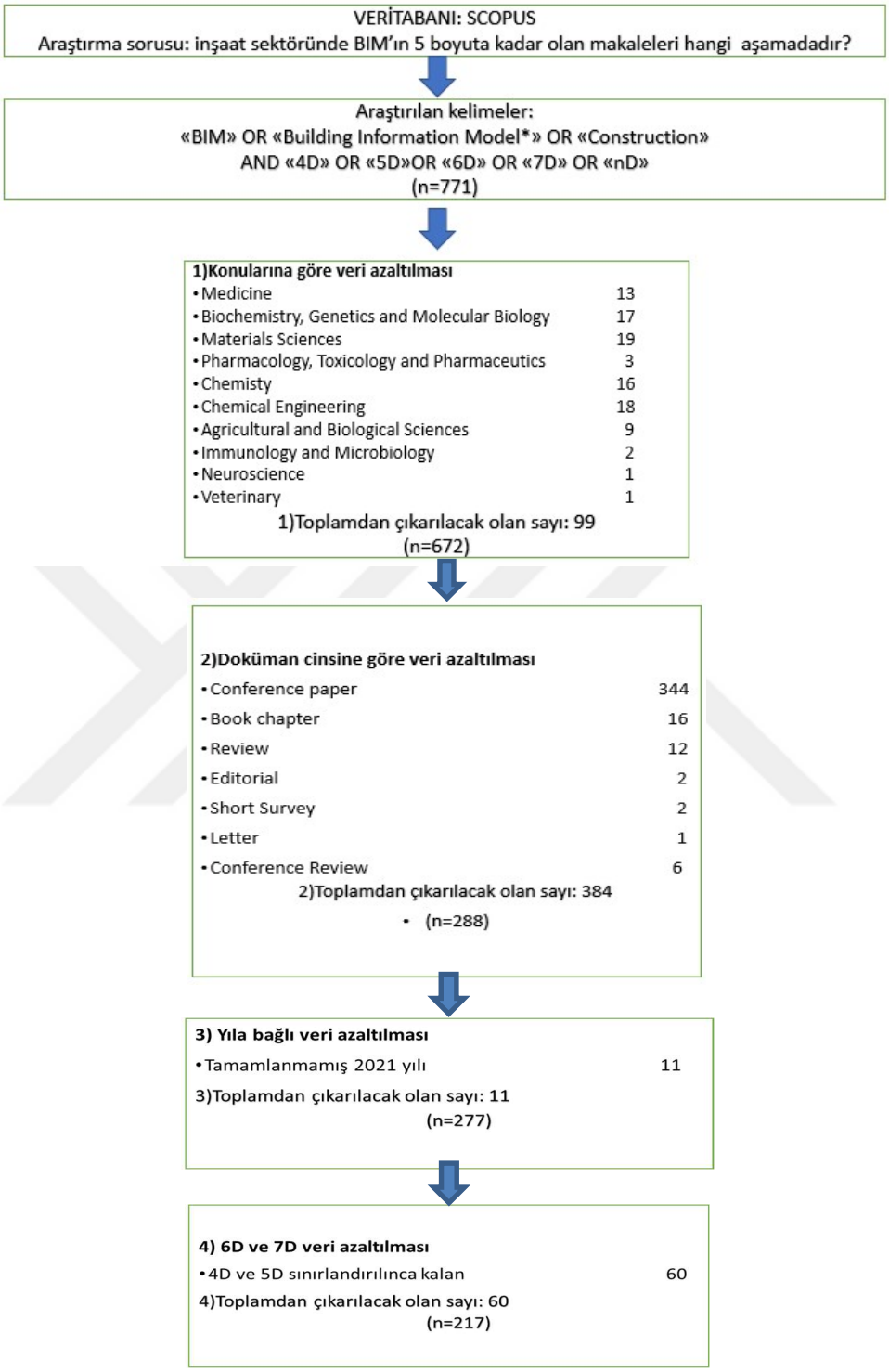
Bu literatür taraması çalışmasında içeriği BIM'ın 5D boyutuna kadar olan kısım ele alınması uygun görülmüştür. Bunun sebebi, 2020 yılına kadar olan Türk inşaat sektörünün BIM uygulamasına geçmekte yaşadığı zorluktur (Aladağ, 2022). Önceden yayınlanmış Li (2017) ve Charef (2018)'deki iki yayın baz alınarak araştırma kelimeleri seçilmiştir (Charef vd., 2018; X. Li vd., 2017).

Bu programların temel akış şemasında makalelerde bulunan anahtar kelimeleri; başlık, özet ve anahtar kelimelerin içerisinde "Building Information Model*" olarak araştırmış olmasıdır. Charef, nD boyutlarını araştırması içerisine katmıştır (Charef vd., 2018). Bu araştırmada her ikisine de yer verilmiştir.

Bizim araştırmamızın Boolean tarama sistemi olarak seçilen kelimeler ve "and" ve "or" ları mantığı. Şekil 2.7'de verilmiştir ve veri azaltım mantığı da işletilmiştir.

SCOPUS elektronik veri tabanında araştırma sorusu soruldu**Bu araştırma sorusu "İnşaat sektöründe BIM'ın 5D boyutuna kadar olan makaleler hangi aşamadadır?**"dır. Araştırılan kelimeler "BIM" or "Building İnformation Modeling" and "Construction" and "3D" or "4D" or "5D" or "6D" or "7D" or "nD" olarak kullanıldı. Bu ilk analiz aşamasında evren 771 sayıda veriye ulaşılmıştır. Bu içerik olarak BIM konusu dışında kalanlar belirlenmiş ve izole edilmiştir. Bu durum veri 672 sayısına düşmüştür. İkinci aşamada amaç sadece makale taraması olduğu için makale dışında kalan yayınlar çıkarılmıştır. Bu aşamada çıkarılacak sayı 384 olmuştur, o yüzden elimizde 288 makale kalmıştır. Çalışma 2021 yılında gerçekleştirildiği için bulunan 11 makale yıl

bitmediğinden çıkarıldı; yani çalışma 2020 yılına kadar olanları içermektedir. Yapılan çalışma ve aşamaları Şekil 2.7'de şematize edilmiştir.



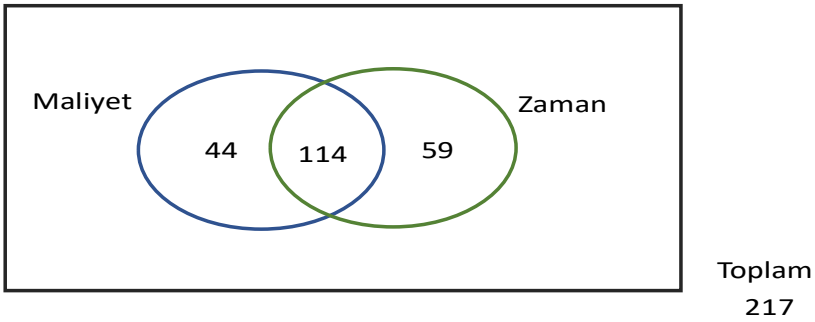
Şekil 2.7. BIM Makale Taramasının Veri Azaltılması Şekli, (Uğur & Benli, 2022).

Son aşama ise 6D ve 7D boyutlarına ait verilerin çıkarılması ile 60 makale daha elenmiştir. Geriye değerlendirmeye alınacak 217 makale kalmıştır.

2.2.3. Seçilen Veri Kaynaklarının Kümelenmesi

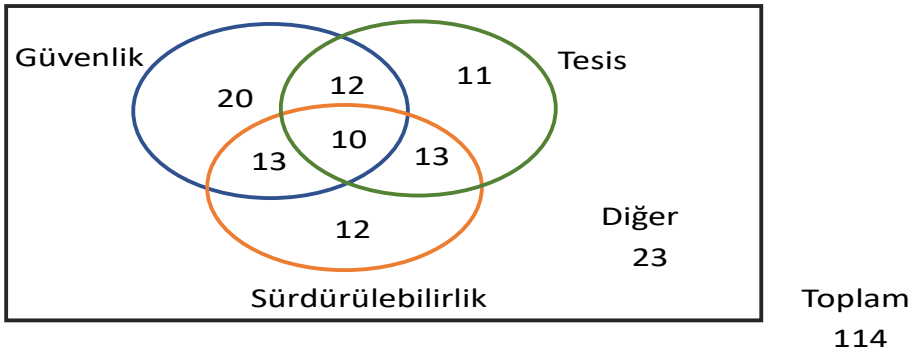
Charef'ın 2018'de yayınlanan makalesinin sonuç bölümüne bakıldığında matrisi zaman, güvenlik, tesis, sürdürülebilirlik ve maliyet olarak ayrı kümeler halinde hazırlanmıştır. Charef'ın çalışmasının anahtar kelimelerin kümelendirilmesinde çakışmalar görülmemiş ve kavramlar birbirinden ayrı net gruplandırılma yoluna gidilmiştir. Bizim Literatür taraması çalışmamızda elde edilen sonuç kesişen kümelerdir.

Tarama çalışmamızda ele alınan 4D (zaman yönetimi) ve 5D (maliyet yönetimi) açısından gruplandırıldığında anahtar kelimelerin birbirinin alt kümesi olmadığı fakat kesişen bir olgu geliştirmiş oldukları görülür. Bu çalışmanın odak noktası, Şekil 2.8'de verilen hem maliyet, hem de zaman yönetimini oluşturan kesişim alt kümedir.



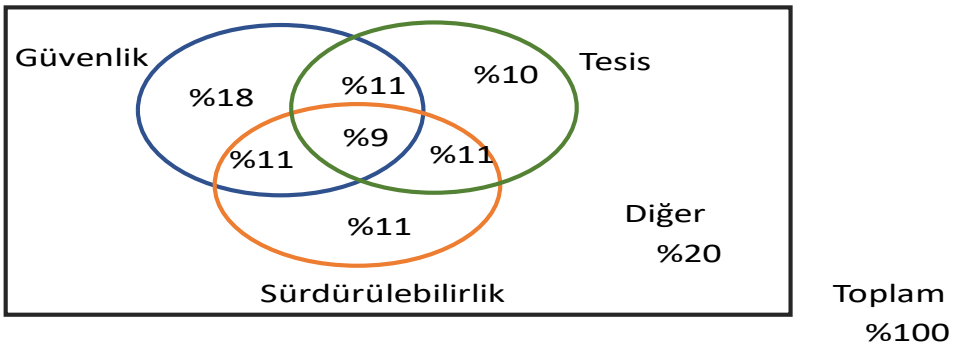
Şekil 2.8. BIM Kavramında Maliyet ve Zaman Yönetiminin Bulunan Makale Tarama Kümeleri

Araştırma derinleştirildiğinde bu kavramların içerisinde 6D ve 7D'ye ait bazı kavramların geçtiği görülmüştür. Yani; 114 makaleyi bu anahtar kelimeler göre bir daha sınıflandırılma yoluna gidilmiştir. Şekil 2.9'da çalışmamız gene kesişen kümeli 3 küme grubuna ulaşılmıştır ve keşişim kümeleri vardır (Uğur & Benli, 2022).



Şekil 2.9. Zaman ve Maliyet Yönetimi Gruplarının Alt Gruplandırılması

Bu çalışma kümesi yüzdelik olarak vurgulandığında daha iyi bir anlaşılabilirlik kazanacağı için Şekil 2.10'da yüzde oranlarına çevrilmiştir.



Şekil 2.10. Zaman ve Maliyet Yönetimi Gruplarının Alt Gruplarının Yüzdelik Hali

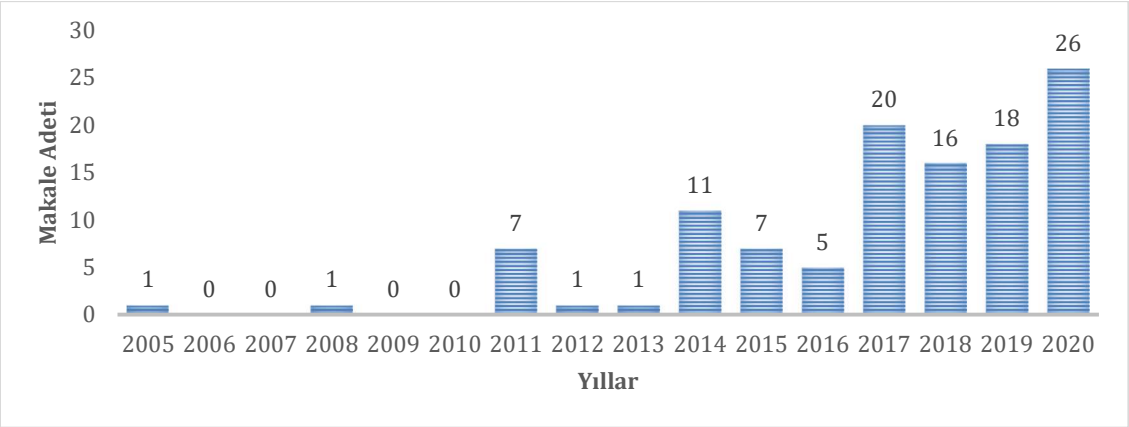
Bu çalışmamızın bir benzeri 2019 senesinde Santos ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (Santos vd., 2019). Santos'un farkı sürdürülebilir inşaatta BIM'ın olgusunu incelemektir ve bunun için 3 alt küme kullanmıştır. Bu kümeler; çevre, ekonomi ve sosyaldir. Çalışmada VOSviewer programıyla inceleme yapmışlardır.

İşlem yapılacak kümeleri ayrı ayrı değerlendirmek için tüm makaleleri içerecek Şekil 2.9'daki kümelerdeki keşişim ve fark alanlarındaki adetlere göre ayrı iş kırılım yapısına göre gruplanmıştır (Bak Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. BIM'ın Zaman ve Maliyetin Alt Dallarına Göre İş Kırılım Yapısının Oluşturulması

Kümelerin Oluşumu	**Toplam**
Güvenlik	20
Tesis	11
Sürdürülebilirlik	12
Güvenlik ve Tesis	13
Güvenlik ve Sürdürülebilirlik	13
Sürdürülebilirlik ve Tesis	12
G &S&T	10
Diğer	23
Toplam	114

Sonrasında bu makalelerin yıllara göre dağılımı Şekil 2.11'de verilmiştir. Grafik bilgisine göre son dört yılda makale sayılarında ciddi bir artış gözükmektedir.



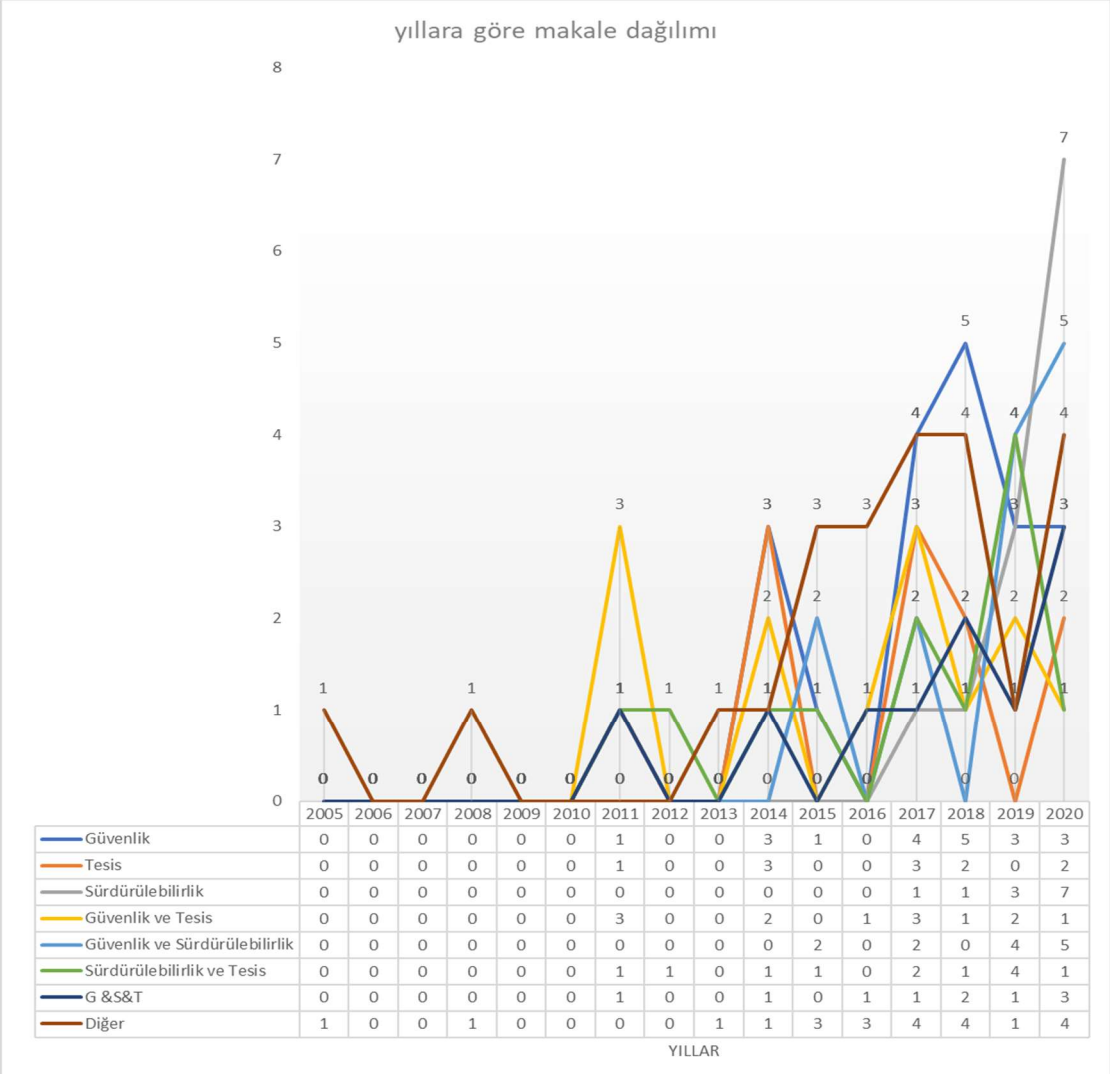
Şekil 2.11. Yıllara göre 4D ve 5D'yi İçeren BIM Makalelerinin Dağılımı

Çizelge 2.2'de ise 4D ve 5D makalelerin konularına göre dağılımını verilmiştir. Bu sayede bir matris oluşturulmuştur. Bu matriste 8 satır ve 16 sütun vardır.8 satır sıralanırsa Güvenlik, Tesis yönetimi, Sürdürülebilirlik ana kümelerdir. Bunların kesişimlerinden Güvenlik ve Tesis yönetimi, Güvenlik ve Sürdürülebilirlik, Sürdürülebilirlik ve Tesis yönetimi ve hepsinin ortak keşişimi Güvelik Tesis yönetimi ve Sürdürülebilirlik (Çizelgede G&T&S olarak kısaltıldı) olarak kısaltılmıştır. Bir de bunlardan istisna olarak başka konulara değinen 23 makale de çalışmamızda kendine yer bulmuştur Yılların en altında bu yıllarda yapılan çalışmaların toplam sayısı yer almaktadır (Uğur & Benli, 2022).

Çizelge 2.2. BIM'ın 4D ve 5D'ye Göre Matris Elemanlarının Yıllara Göre Dağılımı

Kümelerin oluşumu	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Toplam
Güvenlik	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1	0	4	5	3	3	20
Tesis	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	3	2	0	2	11
Sürdürüle-bilirlik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	7	12
Güvenlik ve Tesis	0	0	0	0	0	0	3	0		2	0	1	3	1	2	1	13
Güvenlik ve Sürdürüle-bilirlik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4	5	13
Sürdürülebilir lik ve Tesis	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	2	1	4	1	12
G &S&T	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	2	1	3	10
Diğer	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3	3	4	4	1	4	23
Toplam	1	0	0	1	0	0	7	1	1	11	7	5	20	16	18	26	114

Şekil 2.12'de BIM konusu hakkında incelediğimiz kısmın (yani zaman ve maliyet içerisinde güvenlik, tesis yönetimi ve sürdürülebilirlik kısımları) fark ve kesişimlere göre yapılan çalışma sayılarının yıllara göre dağılımını görülmektedir. Çizelge 2.2'de son 4 yılda yani 2017-2020 yılları arasında BIM konusunun ne kadar öne çıktığı ortadadır. Bunun da nedeni zaman ve maliyetlerin hesaplanmasında en düşük farka ulaşabilmek için yazılımların geliştirilmesine bağlı olduğu düşünülmektedir. Çizelge 2.2 altında yılbaşına düşen makale sayıları hesaplanmıştır. Buna göre son dört yılda sırasıyla 2017'de 20, 2018'de 16, 2019'da 18 ve 2020'de 26 adet makale yayınlandığı görülmüştür. Yıl ve konulara göre matrissel dağılımı Şekil 2.12' verilmiştir. Son yıllara doğru dalgalanmaların artığı görülmektedir.



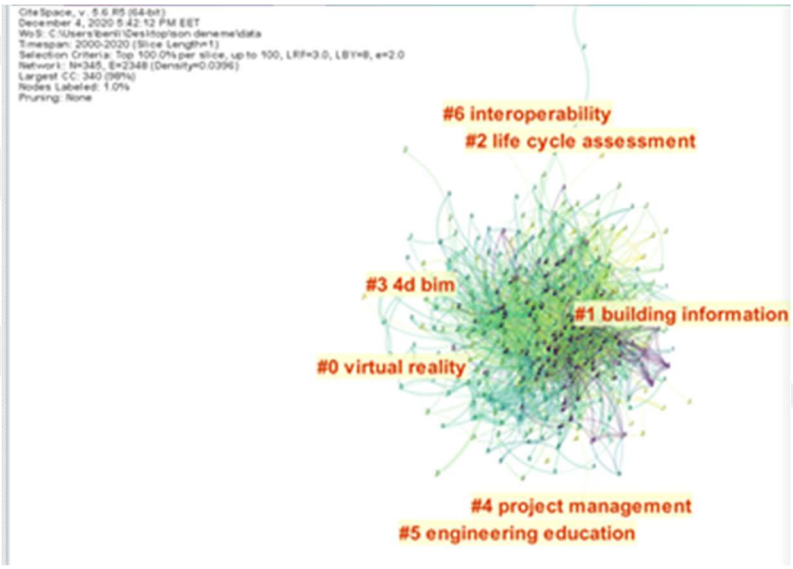
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Güvenlik	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1	0	4	5	3	3
Tesis	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	3	2	0	2
Sürdürülebilirlik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	7
Güvenlik ve Tesis	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	1	3	1	2	1
Güvenlik ve Sürdürülebilirlik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4	5
Sürdürülebilirlik ve Tesis	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	2	1	4	1
G &S&T	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	2	1	3
Diğer	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3	3	4	4	1	4

Şekil 2.12. Konulara Göre Yıl Başına Düşen BIM Makalelerinin Sayısı

2.3. PAKET PROGRAMLARLA BULUNAN VERİLERİN İNCELENMESİ

Chen tarafından geliştirilmiş Citespace yazılımı açık kaynak olarak sunulan bir programdır. Bulunan 114 makale anahtar kelimelerle programa veri girişi yapıldığında şu sonuçlar bulunmaktadır (C. Chen & Song, 2017).

0. Küme: Virtual reality (Sanal gerçeklik)
1. Küme: Building information (Yapı bilgisi)
2. Küme: Life cycle assessment (Yaşam döngü değerlendirmesi)
3. Küme: 4D BIM
4. Küme: Project management (Proje yönetimi)
5. Küme: Engineering education (Mühendislik eğitimi)
6. Küme: Interoperation (Operasyonlar arası)



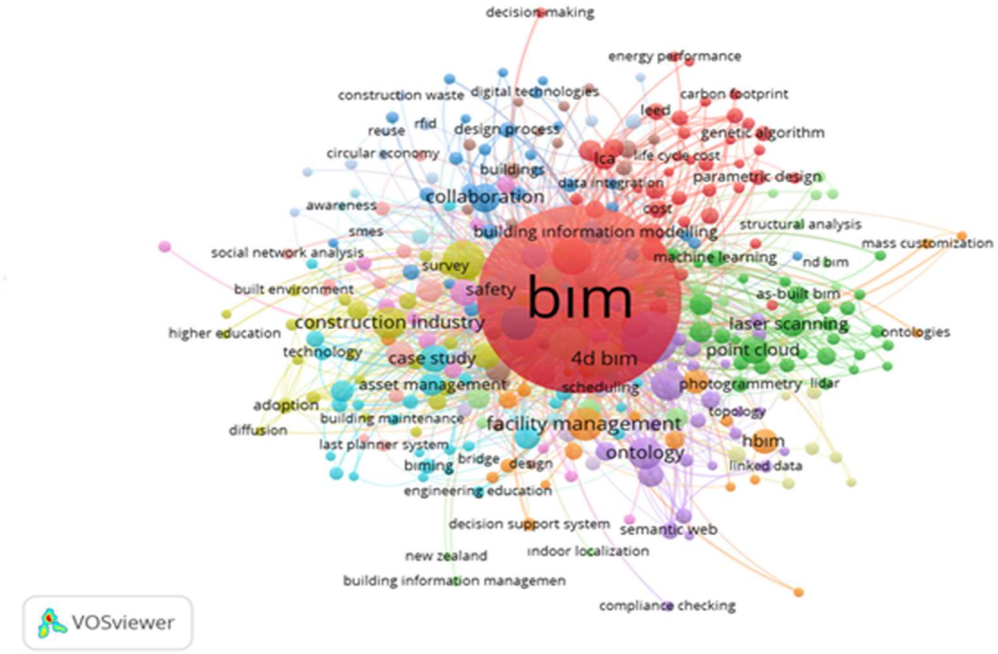
Şekil 2.13. Citespace Programında 114 Makalenin Ortak Anahtar Kelimelerinin Haritası

Citespace yazılımında araştırma sorumuzun sonuçlarının çakışma göstermediği Şekil 2.13'de gözükmektedir. Bulunan kümelenme de sürdürülebilirlik, tesis yönetimi ve işyeri güvenliği kavramları üzere veri yoktur. Bu kavramlara yakın olan 1. küme temel konumuz yapı bilgisi sonra 2. küme sürdürülebilirliği ifade eden yaşam döngü değerlendirmesi olarak sıralanmaktadır. 3. küme de ise 4D BIM gelmektedir. 4. kümede tesis yönetimi yerine proje yönetimine bırakmış gözükmektedir. 5. küme de BIM'in bir mühendislik eğitimi olduğu çıkmıştır. 6. küme operasyonlar arası çıkmıştır.

Bulunan sonuç çalışma için yeterli gelmediği için Citespace'e benzer başka bir programla da analiz yapılması tercih edilmiştir. Şekil 2.14'de VOSviewer yazılımı kelimeleri renklerle kümelemektedir. Kırmızı BIM kelimesi seçtiğimiz makale yoğunluğu nedeniyle en çok çıkmıştır. Kırmızılara bakıldığında LCA ve karbon ayakizi ve maliyet ve

parametrik tasarım öne çıkmaktadır. Yazıların büyüklüğü de haritanın yoğunluğunu okumakta yardımcı olması için ayarlanmıştır. Tesis yönetimi, 4D BIM, Nokta bulut, işbirliği gibi kavramlar öne çıktığı görülmektedir.

Makale taramaları açısından verilerde LCA'nın her iki programda da yoğun olarak görselleştirilmiştir. Bu yüzden çalışmanın gidişatının LCA'ya doğru gitmesine karar verilmiştir.



Şekil 2.14. VOSviewer Programıyla 114 Makalenin Yapılan Anahtar Kelime Yoğunluk Haritası

Bunun için yapılan literatür taramasında iki makale öne çıkmıştır. Bunlardan ilki; Jin'ın(Jin vd., 2019) bina performans analizini içeren ve VOSviewer programı kullanılarak yapılan çalışmasıdır. Jin'in çalışmasında en çok vurgulanan kısım; Yaşam Döngü Değerlendirmesinin daha yeşil bir dünyanın yeşil binalardaki enerji kullanımıyla sağlanacağıdır. İkinci öne çıkan makale ise; Ansah ve ark. (2019) çalışmasıdır. Ansah ve ark. çalışmasında dikkati "Green Building Assessment Scheme (Yeşil Bina Değerlendirme Şeması)"a odaklanmış ve "Green BIM (Yeşil BIM)" olarak yeni bir kavram oluşturmuştur (Ansah vd., 2019). Ansah'ın çalışmasında da veritabanı bu çalışmamızdaki gibi "SCOPUS" kullanmıştır. Ansah çalışmasında uygulanan sistemde en büyük açık olarak en çok Yeşil BIM kavramının LOD (Level of Detail) detay seviyelerinin programlarca iyi detaylandırılamadığı vurgu yapmaktadır. Bunların

yapılabilmesi için Autodesk Revit programında oluşturulurken MS macro ve Dynamo programının kullanılması gerektiğini belirtmektedir.

Citespace ve VOSviewer programıyla LCA kavramı dışında birebir aynı sonuçlar bulunamamıştır. VOSviewer'da ilk göze çarpan anahtar kelimeler, BIM, güvenlik, 4D BIM, LCA, işbirliği, inşaat endüstrisi, tesis yönetimi, enerji performansı gibi kelimelerdir. O yüzden, araştırma başta uygulanan kümelendirmeye göre tekrar ele alınmıştır. Bu sefer insan gözü değerlendirici olarak kullanılmıştır. Bütün çalışmalar tek tek belli kriterlere göre incelenerek, tabloda gerekli bilgiler elde edilmiştir. Bu son araştırma Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında en öne çıkan konular; inşaatın bütünleşik proje planlamasında maliyet ve zaman değeri (Elghaish, Hosseini, vd., 2020) Yeşil Binaların üretiminde BIM değeri (Khanzadi vd., 2020), Yeşil Bina denilince Yalın İnşaata geçiş (Montiel-Santiago vd., 2020) yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır. Konuların etrafında 4D ve 5D açısından inşaatlarda çakışmanın en aza indirilmesi (Rohani vd., 2018) ve çevresel atıkların önüne geçmek için BIM uygulaması etkili bir yol olarak tanımlanmıştır (Tan vd., 2017).

Çizelge 2.3. “Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik” Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları.

No	Yazarı	Yayın yılı	Zaman	Maliyet	Sürdürüle-bilirlik	Tesis yönetimi	Güven-lik	Diğer	Makalede öne çıkan konular
1	Abbasi vd.(Abbasi vd., 2020)	2020	√	√		√			İnşaat programlamasında düzeltmelerin ayrık olaylara göre Tam zamanında BIM bazlı zamanlamayla birleşimi
2	Elghaish vd.(Elghaish, Hosseini, vd., 2020)	2020	√	√	√				Bütünleşik proje dağıtımında para ve zamana göre inşaatın planlamada başarı faktörleri
3	Bachi ve Bellato (Bachi & Bellato, 2020)	2020	√	√				√	4D boyutunda BIM’in belirsizlik faktörlerini azaltması
4	Vilvent vd.(Vilventhan vd., 2021)	2020	√	√		√			Kentin alt yapı projelerinde yenilenmesinin yönetiminde 4D BIM modelin gecikmelerini minimuma indirilmesi
5	Guerra vd.(Guerra vd., 2020)	2020	√	√	√	√	√		Atık yönetiminin geri dönüşüm kuralları içerisinde irdelenmesi
6	Shahnavaz vd. (Shahnavaz vd., 2020)	2020	√	√	√		√		Çoklu vinç kaldıraçlarının yönetilmesinde BIM kullanımıyla otomazisyonunun yapılmasını sağlanamaması
7	Xu vd.(Z. Xu vd., 2020)	2020	√	√	√				Prefabrik elemanların noktasal bulut kullanımında yüzey etkilerinde 3D'de tekrar inşaa edip, ölçülmesinin kalite açısından faydaları
8	Vigneault vd. (Vigneault vd., 2020)	2020	√	√	√				İnşaat maliyet yönetimi için geliştirilen 5D BIM çerçevesindeki yenilikler
9	Hosny vd.(Hosny vd., 2020)	2020	√	√			√		İnşaat işlerinde planlamasında rasgele olmayan faktörler
10	Khanzadi vd.(Khanzadi vd., 2020)	2020	√	√	√		√		Yaşam döngü projelerine göre BIM uygulamalarının Fuzzy-AHP yaklaşımıyla tanımlanması
11	Montiel-Santiago vd. (Montiel-Santiago vd., 2020)	2020	√	√	√		√		Yeşil bina ve kamu (hastane gibi) yapıların ışıklandırılması açısından Enerji yönetimi
12	Zhen vd.(Zhen vd., 2020)	2020	√	√	√		√		İşçi, yapı malzemesi ve ekipman, (depremden sonra) onarım için maliyetine karar verme yöntemleri
13	Abed vd.(Abed vd., 2020)	2020	√	√			√		Irak yağ projelerinin güvenlik analizinin sağlanmasında BIM teknolojilerinin rolü
14	Pakhale ve Pal (Pakhale ve Pal, 2020)	2020	√	√	√	√			5D ile bütünleşik BIM yönetimi, yeniden planlama ve koordinasyon planı yapılmasını önlemektedir.
15	Francis(Francis, 2020)	2020	√	√			√		İnşaat operasyonunda kaynak kullanımının öncelik sıralaması

Çizelge 2.4. (devamı).“Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik” Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları.

No	Yazarı	Yayın yılı	Zaman	Maliyet	Sürdürüle-bilirlik	Tesis yönetimi	Güven-lik	Diğer	Makalede öne çıkan konu
16	D'Amico vd.(D’Amico vd., 2020)	2020	√	√		√	√		BIM ile altyapının zaman ve maliyet açısından incelenmesi
17	Moshtaghain vd. (Moshtaghian vd., 2020)	2020	√	√	√		√		Dinamik riskler altında projeyi doğru olarak yönlendirilme
18	Elghaish ve Abrishami (Elghaish & Abrishami, 2020)	2020	√	√	√				Bütünleşik proje dağıtımı bazlı çözümlemeyle 4D BIM devrimselliğinin geliştirilmesi
19	Kaewunruen vd. (Kaewunruen vd., 2020)	2020	√	√	√				Köprü alt yapısında 6D BIM kullanımı ile sürdürülebilirliğinin yönetimi
20	Martins vd.(Martins vd., 2020)	2020	√	√	√	√	√		BIM teknolojisinde, planlama açısından yazılımların karşılaştırılması
21	Biancardo vd. (Biancardo vd., 2020)	2020	√	√				√	BIM yazılımlarla tarihi bir yapının incelenmesi
22	Elghaish vd.(Elghaish, Abrishami, vd., 2020)	2020	√	√	√				Bütünleşik proje dağıtımı için maliyet açısından BIM bazlı çözümde devrim yaratılması
23	Magill vd. (Magill vd, 2020)	2020	√	√				√	İnşaat alanında doğru tedarik zincirini oluşturmak için 4D kullanımı
24	Le vd.(Le vd., 2020)	2020	√	√	√				Bina yaşam döngü maliyetinin değerlendirilmesi için BIM’e dayalı bütünleşik veri yönetimi sistemi geliştirilmesi
25	Shou vd. (Shou vd., 2020)	2020	√	√	√	√	√		Yalın yönetim bakımından döngüsel onarım işinin incelenmesi
26	Lin vd.(Lin vd., 2020)	2020	√	√				√	BIM maliyet bakımından daha az insan gücü ve finans sağlamaması
27	Mahdi vd.(Mahdi vd., 2019)	2019	√	√			√		BIM teknolojisine dayalı kıyı işlerinde önerilerin yönetimin faydaları
28	Elghaish vd. (Elghaish vd., 2019)	2019	√	√	√	√			Kazanılmış değer ve faaliyet bazlı maliyet yönetimiyle BIM 'de otomasyona geçiş
29	He vd. (He vd., 2019)	2019	√	√	√				Genetik algoritma ve BIM'e dayalı inşaat maliyetini optimize edilmesine yönelik model

Çizelge 2.5. (devamı). "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları.

No	Yazarı	Yayın yılı	Zaman	Maliyet	Sürdürülebilirlik	Tesis yönetimi	Güvenlik	Diğer	Makalede öne çıkan konular
30	Kaewunruen ve Lian (Kaewunruen & Lian, 2019)	2019	√	√	√	√	√		Binalarda Sürdürülebilirlik kriterlerinin farklı yazılımlarla irdelenmesi?
31	Narlawar vd.(Narlawar vd., 2019)	2019	√	√				√	Bilgisayar yazılımlarıyla 4D ve5D boyutlarında BIM'ın faydaları
32	Butkovic vd.(Butkovic vd., 2019)	2019	√	√	√		√		LOD'ların inşaat projesinde 4D'e göre simule edilmesi
33	Keerthana ve Gunarari (Keerthana & Gunarani, 2019)	2019	√	√		√	√		BIM 'in gerçek zamana ve maliyete göre hatasız model oluşturması
34	Tzortzopoulus vd. (Tzortzopoulos vd., 2019)	2019	√	√	√				Basit BIM protokolü yapımı ile desteklenmesinen müşterinin karar vermesinin değerlendirilmesi
35	Rui(Rui, 2019)	2019	√	√			√		İnşaat Sektöründe BIM uygulamalarının taranması
36	Tirunagari ve Kone (Tirunagari ve Kone, 2019)	2019	√	√	√		√		Bütünleşik proje dağıtımında para ve zamana göre inşaatın planlaması
37	Aredah vd.(Aredah vd., 2019)	2019	√	√	√				BIM teknolojisinin, proje planlamasında oluşturduğu üstünlük
38	Deng vd.(Deng vd., 2019)	2019	√	√	√	√			BIM ve GIS açısından zamanın planlanmasında matematik yardımıyla karar verme uygulaması
39	Cheng ve Chang (M.-Y. Cheng & Chang, 2019)	2019	√	√		√	√		Yapay zekayla BIM'e göre dinamik malzeme ihtiyacının düzenlenme modeli
40	Gong vd.(Gong vd., 2019)	2019	√	√	√	√			4D kabullerinin bir örnekte çalışılması
41	Bortolini vd.(Bortolini vd., 2019)	2019	√	√	√		√		Prefabrik yapı sistemlerinde mühendisin siparişiyle gelişen planlama ve kontrol
42	Swallow ve Zulu (Swallow & Zulu, 2019)	2019	√	√	√		√		İşyeri ve güvenliği için 4D modelinin uygulanmasındaki faydaları ve engelleri
43	Zanni vd.(Zanni vd., 2019)	2019	√	√	√	√			Tüm yaşam maliyetinin BIM içerisinde karar vermesinin değerlendirilmesi

Çizelge 2.6. (devamı). "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları.

No	Yazarı	Yayın yılı	Zaman	Maliyet	Sürdürülebilirlik	Tesis yönetimi	Güvenlik	Diğer	Makalede öne çıkan bulgu
44	Crowther ve Ajayi (Crowther ve Ajayi ,2019)	2019	√	√			√		İnşaat proje performansına 4D BIM 'in etkileri
45	Kaewunruen ve Xu (Kaewunruen & Xu, 2018)	2018	√	√			√		Tren yolu istasyon binalarının sürdürülebilirlik için BIM'ın uygulanması
46	Wang ve Sun(H. Wang & Sun, 2018)	2018	√	√			√		Metro istasyonlarının derin kazık üretiminde BIM kullanılmasının yarattığı faydalar
47	Choi vd.(J. Choi vd., 2018)	2018	√	√	√	√	√		Sağlık açısından BIM projelerinin faydaları
48	Zhang ve vd.(S. Zhang vd., 2018)	2018	√	√			√		BIM ve P3E/C'ye dayalı su gücü projelerinin ortak planı ve maliyetinin geliştirilmesi
49	Pucko vd. (Pučko vd., 2018)	2018	√	√			√		Tasarımdaki 4D ile yapım esnasındaki 4D birbirleriyle benzeşmemeleri
50	Rohani vd.(Rohani vd., 2018)	2018	√	√				√	4D ve 5D bakımından sanal modelin inşaat işlerinde getirdiği rahatlık
51	Charef vd.(Charef vd., 2018)	2018	√	√	√	√	√		Zaman ve maliyet hakkında yurtiçi ve yurt dışı firmalara anket çalışması
52	Khasani ve Hidayat(Khasani & Hidayat, 2018)	2018	√	√	√	√			Endonazya'daki BIM kavramının başarı seviyesinin araştırılması
53	Francisco vd. (A. Francisco vd., 2018)	2018	√	√	√	√			Ekolojik geri beslemenin BIM açısından önemi
54	Zeng vd.(Zeng vd., 2018)	2018	√	√			√		Metro istasyonunun inşaat yönetiminde 4D
55	Francisco ve Ikel(L. Francisco & Iker, 2018)	2018	√	√				√	Metro alt yapısında BIM'ın kullanımı
56	Jose Maria (María, 2018)	2018	√	√				√	Tüm boyutlarıyla BIM'ın faydaları
57	Mirarchi vd. (Mirarchi vd., 2018)	2018	√	√		√			BIM, GIS teknolojisinin koordinasyonu ve son kullanıcıya göre bütünleşik tesis yönetiminin desteklenmesi

Çizelge 2.7. (devamı). "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları.

No	Yazarı	Yayın yılı	Zaman	Maliyet	Sürdürülebilirlik	Tesis yönetimi	Güvenlik	Diğer	Makalede öne çıkan bulgu
58	Cardenas vd. (Cárdenas vd., 2018)	2018	√	√				√	Zaman ve maliyette BIM'le yapılan programların faydaları
59	Zaher vd.(Zaher vd., 2018)	2018	√	√		√			İnşaat Projelerinin geliştirilmiş gerçeklik uygulamasıyla daha etkin hale geliştiği gözlemlendi.
60	Malacarne vd. (Malacarne vd., 2018)	2018	√	√	√				SME'lerde inşaat planlaması için BIM'in araştırılan faydaları ve kriterleri
61	Charehzehi vd. (Charehzehi vd., 2017)	2017	√	√		√	√		BIM modelinin CPM modeli üzerinde planlanması ve güncellenmesi hakkında karar verme
62	Cheng vd.(J. C. P. Cheng vd., 2017)	2017	√	√	√		√		4D/5D BIM modelinin kıyı ötesi yağ ve gaz platformlarını hizmetten alıp yerine otomatik yaklaşım geliştirme
63	Choe ve Leite (Choe & Leite, 2017)	2017	√	√			√		Proje katılanlara göre aktif bir inşaat güvenlik planının geliştirilmesi
64	Candelario vd. (Candelario-Garrido vd., 2017)	2017	√	√	√		√		Geleneksel sisteme karşı 4D planlama grafik sistemin niceliksel ve yapılabilirlik analizi
65	Natephra vd.(Natephra vd., 2017)	2017	√	√	√	√			Sıcaklık performanslarının içinde BIM'ın 4D bakımından irdelenmesi
66	Park vd. (Park vd., 2017)	2017	√	√		√			Günlük 4D BIM web üzerinden takibinin yapılması veri alışverişini desteklemesi ve koordinasyon sağlaması
67	Kehily ve Underwood (Kehily & Underwood, 2017)	2017	√	√	√	√			5D BIM açısından gömülü yaşam döngü maliyetinin geleneksel yönteme göre üstünlüğü
68	Son vd.(Son vd., 2017)	2017	√	√				√	4D BIM'le inşaat verilerinin otomatik planlamasının güncelleme yapabilmesi
69	Hamledari vd. (Hamledari vd., 2017)	2017	√	√		√			IFC bazlı 4D'ler otomatik planlama ve süreci otomatik güncelleme
70	Tan vd.(Tan vd., 2017)	2017	√	√	√	√	√		Çevresel atıkların BIM çerçevesinde kaldırma çalışması
71	Park ve Chai(Park & Cai, 2017)	2017	√	√		√	√		Çeşitli verilerin Çok boyutlu BIM'e göre inşaat aşamasında iş ayrım yapısına göre ele alınması
72	Zhang ve vd. (X. Zhang vd., 2017)	2017	√	√				√	BIM'ın Revit programı ile Metro istasyonunda uygulanması

Çizelge 2.8. (devamı). "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları.

No	Yazarı	Yayın yılı	Zaman	Maliyet	Sürdürülebilirlik	Tesis yönetimi	Güvenlik	Diğer	Makalede öne çıkan konular
73	Tuttas vd. (Tuttas vd., 2017)	2017	√	√		√			4D BIM kullanarak inşaat sürecinin fotogrametrik buluttan edinimli ve ardışık izlenmesi
74	Bobrova ve Panchenko (Bobrova & Panchenko, 2017)	2017	√	√			√		Uzaysal geçici modellemeye bağlı olan inşaatta iş süreçlerinin görselleştirilmesi
75	Gledson ve Greenwood (Gledson & Greenwood, 2017)	2017	√	√				√	Birleşmiş Krallık inşaatlarında 4D adaptasyonuyla %50 bitiş tarihlerini öne almaya çalışması
76	Alashwal ve Chew (Alashwal & Chew, 2017)	2017	√	√				√	Malezya'da inşaat projelerinin maliyet açısından değerlendirilmesi
77	Hamada vd. (Hamada vd., 2017)	2017	√	√		√	√		4D BIM'ın inşaat endüstrisine proje bazında faydalarının tepit edilmesi
78	Ganah ve John (Ganah & John, 2017)	2017	√	√			√		Şantiyede iş sağlığı ve güvenliği için BIM ve Proje planlamasını bütünleşik yapılmasının faydası
79	Candelario Garrido vd.(Candelario Garrido vd., 2017)	2017	√	√			√		BIM'le yapılan mekanik planlama gözlemleme ve kontrol daha iyi duruma getiriyor.
80	Kim vd.(M.-K. Kim vd., 2016)	2016	√	√	√				Lazer tarama ve BIM uygulayan tam öngermeli betonun otomatikleştirilen boyutsal kalite güvencesinin önemi
81	Ciribini vd.(Ciribini vd., 2016)	2016	√	√		√	√		4D BIM'ın IFC 'e bazlı inşaatta koordinasyonu ve tasarımı optimize etmek
82	Oti vd.(Oti vd., 2016)	2016	√	√	√	√	√		Programlarla BIM uygulamasının performans modelinin oluşturulması
83	Merschbrock ve Nordahi-Rolfsen (Merschbrock & Nordahl-Rolfsen, 2016)	2016	√	√				√	BIM teknolojisinin demir işçiliği açısından bir uygulamada değerlendirilmesi
84	Hochmuth (Hochmuth, 2016)	2016	√	√				√	BIM'ın GIS verileri içinde kavramsal ve detaylı tasarımla desteklenmesi
85	Liu ve Hu (Liu & Hu, 2016)	2016	√	√				√	Çin'de bir elektrik gücü endüstrisinde 5D BIM ile modelin bir benzerinin yapılması

Çizelge 2.9. (devamı). "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları.

No	Yazarı	Yayın yılı	Zaman	Maliyet	Sürdürülebilirlik	Tesis yönetimi	Güvenlik	Diğer	Makalede öne çıkan konular
86	Lu vd. (Lu vd., 2016)	2016	√	√				√	5D BIM 'le nakit akışı ve çıkışı proje finansmanınca değerlendirilmesi için karar verme tekniği
87	Wang vd. (Y. Wang vd., 2015)	2015	√	√			√		Derin kazık dinamik inşaatında BIM uygulamasında kullanılması
88	Kim vd. (J. I. Kim vd., 2015)	2015	√	√	√		√		Büyük ölçekte gelişen sürdürülebilirlik için BIM bazlı karar destekleme metoduyla irdelenmesi
89	Zhou vd. (Y. Zhou vd., 2015)	2015	√	√	√		√		Mega sıvısal doğal gaz fabrikalarının 4D modeline kaynak yerleştirilmesi
90	Fan vd. (Fan vd., 2015)	2015	√	√				√	BIM kullanımıyla maliyet ve planlamanın bütünselliğinin önemi
91	Moon vd. (Moon vd., 2015)	2015	√	√				√	Azalan örtüşen faaliyetler için BIM bazlı İnşaat planlama metodolojisinin genetik algoritmayla irdelenmesi
92	Golparvar vd.(Golparvar-Fard vd., 2015)	2015	√	√	√	√			Sırasız günlük fotoğraflarla izleme yöntemi IFC bazlı BIM'ler arasında otomatik ilerlemenin tespiti
93	Choi vd. (B. Choi vd., 2014)	2014	√	√			√		İnşaat proje performansına 4D BIM kullanımının iş kalemlerinin projelendirilmesinin önemi
94	Aibinu ve Venkatesh (Aibinu & Venkatesh, 2014)	2014	√	√				√	BIM uzmanlarına maliyet danışmanlığı üzerine durum değerlendirme amaçlı bir anket çalışması
95	Bosche vd. (Bosché vd., 2014)	2014	√	√		√			Tesis yönetiminde MEP işinin BIM sistemine karşı kazandığı değerler
96	Gelisen ve Griffis (Gelisen & Griffis, 2014)	2014	√	√		√			Zaman, maliyet ve ticaret analizi yaklaşımıyla otomatik üretim bazlı animasyon oluşturma
97	Moon vd.(Moon vd., 2014)	2014	√	√		√	√		Çalışma alanları arasında paralel planlamayla eş zamanlı sistem yönetimiyle örtüşmesi
98	Xu vd. (H. Xu vd., 2014)	2014	√	√		√			Çin inşaat endüstrisinde kullanıcı odaklı BIM değerlendirmesi
99	Zhou vd. (W. Zhou vd., 2014)	2014	√	√	√	√			Kullanıcı odaklı tasarımın,4D modelleme için geliştirilmesi
100	Chen ve Luo (L. Chen & Luo, 2014)	2014	√	√	√	√	√		İnşaat bazlı BIM'ın zamanlama içerisinde kalite yönetimi

Çizelge 2.10. (devamı). "Sürdürülebilirlik, Tesis, Güvenlik" Açısından İncelenen BIM Hakkındaki Makalelerin Odak Noktaları.

No	Yazarı	Yayın yılı	Zaman	Maliyet	Sürdürülebilirlik	Tesis yönetimi	Güvenlik	Diğer	Makalede öne çıkan konu
101	Kwon vd. (Kwon vd., 2014)	2014	√	√			√		Artırılmış gerçeklikle betonarme yapıların gerçekle alakasının irdelenmesi
102	Ding vd. (Ding vd., 2014)	2014	√	√		√	√		BIM modelinin kalite güvenlik ve çevre açısından 3D'den nD'e uzanan ilerleyişi
103	Wang vd. (W.-C. Wang vd., 2014)	2014	√	√			√		Proje planlamasına göre kaynak yönetiminin BIM'le bağdaştırılması
104	Kim vd. (H. Kim vd., 2013)	2013	√	√	√	√			Açık BIM uygulamalarının veri alışverişinin güçlendirmek
105	Klein ve Becerik-Gerber (Klein vd., 2012)	2012	√	√	√	√			Dijital dökümükasyonun yapım aşamasında sağlaması
106	Elbeltagi ve Dawood (Elbeltagi & Dawood, 2011)	2011	√	√		√	√		GIS ve BIM verileri nD boyutunda birleştirilmesinin incelenmesi
107	Bansal (Bansal, 2011)	2011	√	√		√			Uzaysal çatışmaların yerinde çözülmesi ve tanımlanmasında GIS ve Topoloji kullanılmasının önemi
108	Jung ve Joo (Jung & Joo, 2011)	2011	√	√			√		Gerçeğe geçirilen dünya projelerinde BIM kullanımı
109	Hallberg ve Tarandi (Hallberg & Tarandi, 2011)	2011	√	√	√	√			Yaşam döngü yönetiminin uygulanmasında 4D'e göre planlanmasının Açık BIM'le ilişkilendirilmesi
110	Bansal ve Pal (Bansal & Pal, 2011)	2011	√	√		√	√		4D boyutunda GIS verilerinin etkisi ve güncellenmesinin önemi vurgulanması
111	Hu ve Zhang (J. P. Zhang & Hu, 2011)	2011	√	√	√	√	√		İnşaatta dinamik gelişmelere göre zamana bağlı yapı analizi
112	Zhang ve Hu (J. P. Zhang & Hu, 2011)	2011	√	√		√	√		Zamana göre bütünleşik BIM uygulamasının güvenlik açısından ele alınması
113	Post (Post, 2008)	2008	√	√				√	(Zaman ve maliyet) açısından inşaatçıların BIM'den faydalanma alanları
114	Tse vd.(Tse vd., 2005)	2005	√	√				√	BIM'ın 3D'den nD'ye kadar oluşturulan veri tabanının kullanım açısından önemi

2.4. ÇALIŞMANIN YAPAY ZEKÂ KATKISIYLA GÜNCELLENMİŞ HALİ

Heidari 2024 yılında yaptığı çalışmada 2015 ile 2022 yılları arasını araştırmıştır (Heidari vd., 2024). Bibliometrik analizi yaparken ingilizce basılan makaleleri ele almıştır. Bunu yaparken üç program kullanmıştır. Bu programlar; VOSviewer, CiteSpace, and Gephi yazılımlarıdır. İlk kümeyi oluşturmak için Boolean (NOT; OR veya AND kullanarak "True" veya "False" mantıksal algoritmasının geliştirilmesi) operatörleriyle aranan anahtar kelimelerin programa girişinin yapılması ve sonucu aşağıdaki gibidir:

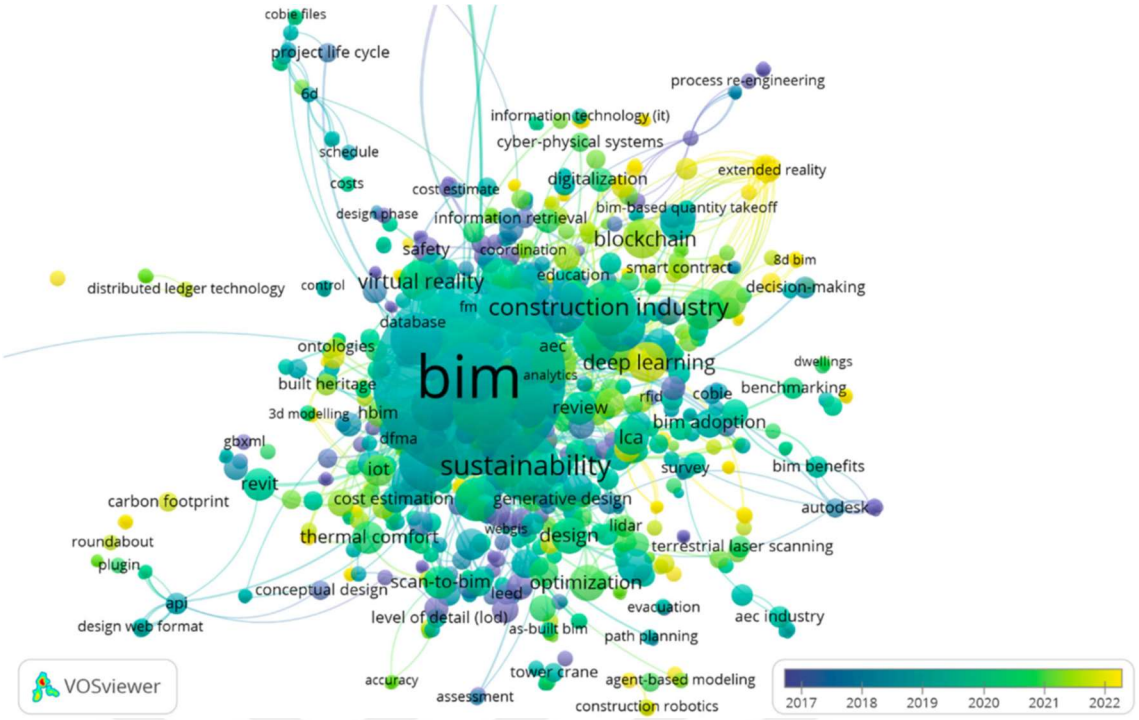
- (BIM OR 'Building Modeling Information')
- AND 'construction'
- AND 'building management'.

Bu analiz sonucunda, BIM alanındaki 11 368 araştırma makalesi, anahtar kelimelerin birlikte oluşma analizini gerçekleştirmek için VOSviewer ve CiteSpace yazılımına aktarılmıştır. Heidari analizinde, anahtar kelimeler arasında 203 düğüm ve 1471 bağlantılı hat ortaya çıkarmıştır.

Çizelge 2.11. VOSviewer Programında Zaman Değişiminden Kaynaklı Farklı Sıralama

	Bizim Literatür çalışmamız (2022)	**Heidari'nin çalışması (2024)**
1	BIM	BIM
2	Construction Industry	Sustainability
3	Facility Management	LCA
4	4D BIM	Construction İndustry
5	Safety	Virtual Reality
6	Point Cloud	Blockchain
7	As Built BIM	Safety
8	LCA	Thermal Comfort

Çizelge 2.11'de bizim yaptığımız VOSviewer çalışmasıyla Heidari'nin yaptığı çalışma arasında farklar gözükmektedir. Bu farklar aşağıda verilmiştir.

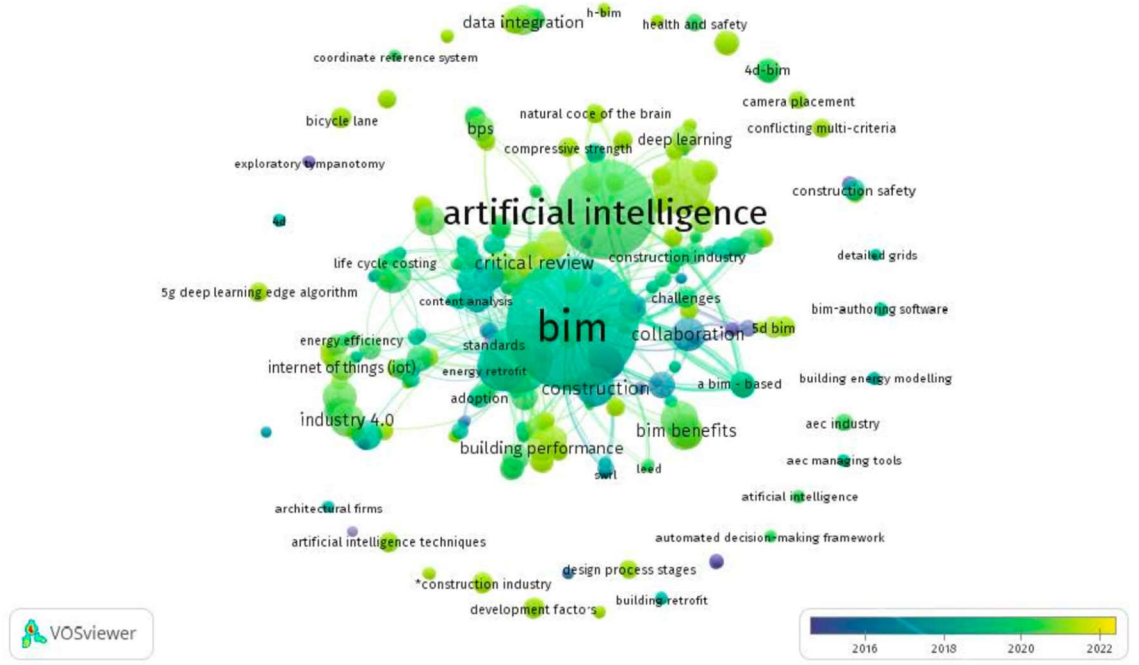


Şekil 2.15. BIM Anahtar Kelimesinin VOSviewerdaki Analizi, (Heidari vd., 2024)

Aynı çalışmada ikinci kümeyi oluşturmak için Yapay Zeka ve BIM kavramları incelemesi yapılmıştır. Bunun için Boolean operatörü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

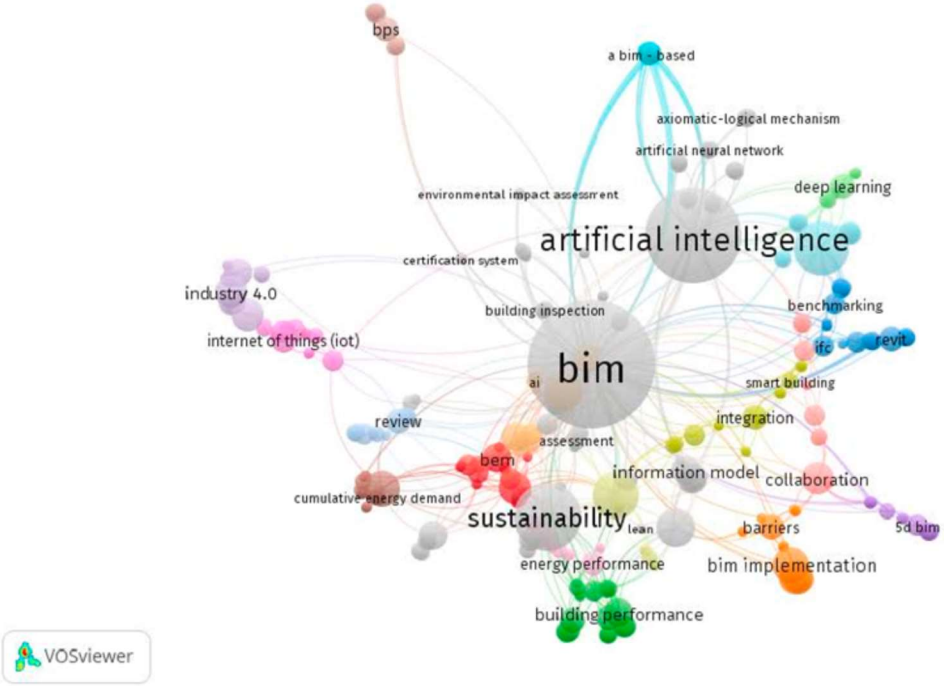
- (BIM OR‘Building Modeling Information’)
- AND ‘construction’
- AND ‘building management’
- AND (AI OR ‘artificial intelligence’)
- AND ‘construction’
- AND ‘building management’.

Yaklaşık 19 742 makaleye ulaşılmış. Bunların 453 araştırma makalesi anahtar kelime olarak eş zamanlı performans göstermiştir. Bunun analizi aşağıda Şekil 2.16’da verilmiştir. Haritada ortaya çıkan elbette anahtar kelime olarak arattığımız BIM ve Yapay Zekanın baskınlığıdır. Bu konunun merkezinin etrafında bulunan temel konular; bina performansı, standartlar, eleştirel inceleme, inşaat endüstrisi, endüstri 4.0, nesnelerin interneti ve iş birliği bulunmaktadır. Bu konuların etrafında başka bakış açılarını yansıtan birçok konu yer almaktadır.



Şekil 2.16. BIM ve Yapay Zeka Birlikte VOSviewer Programında İncelendiğinde Bulunan Analiz, (Heidari Vd., 2024)

Aynı çalışmada Yapay Zeka ve BIM olarak VOSviewer analizini anahtar kelimelerin ilişkisi ve yoğunluğu olarak incelendiğinin de aşağıdaki Şekil 2.17 çıkmaktadır.



Şekil 2.17. Yapay Zeka ve BIM içeren VOSviewer, (Heidari vd., 2024).

Bu yoğunlaşan ilişkilerin başlıkları şu şekilde özetlenebilir: yapı denetim, sertifikasyon sistemi, derin öğrenme, çevresel etki değerlendirme, bilgi modeli, iş birliği, enerji performansı, bina performansı, kümülatif enerji talebi, BIM uygulama yönetimi (BEM), BIM tabanlı çalışma, BIM uygulamaları, akıllı bina, endüstri 4.0, nesnelerin interneti, bariyer ve yalın olarak alt kümelenmiştir.

2.5. BIM YAZILIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Eleftheriadis ve arkadaşlarının; LCA'yı irdelerken BIM yazılımlarından da bahsetmiştir (Eleftheriadis vd., 2017). Bunların genellikle (%73) Autodesk Revit programının başı çektiği görülmektedir. Diğer programlar ise Vico, Dprofiler ve Blender adlı yazılımlar olduğunu belirtmiştir. Eleftheriadis ve arkadaşları BIM yazılımlarından maliyet tahmini için olanları ikiye ayırmaktadır: (i) BIM yazılımını içinde barındıran yazılımlar, (ii) Maliyet tahmini için BIM verileriyle bağlantılı çalışan programlar olmak üzere gruplandırır.

BIM yazılımları artık LCA sürecini de içinde barındırır hale geldikleri için Sürdürülebilir inşaat anlatımında birlikte ele alınacaklardır. Ama burada belirtmek gerekir ki her 3D program bir BIM yazılımı değildir.

2.6. YORUMLAR

Bu tez çalışması kapsamında 2021 yılına kadar olan 4D ve 5D BIM hakkında yapılmış makaleler incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, en kısa süreçte en az insan gücü ve finansman kullanımıyla inşaat işinin yapılmasını sağlamaktır. Taranan makalelerin sonucunda; teknolojinin ilerlemesinin Yapay Zeka kullanımıyla bütünleşen BIM kullanımı ile şantiyenin malzeme ihtiyaç programının düzenlenmesine imkan verebilecek duruma geldiği görülmüştür. Gerek 'Tedarik zinciri' gerek projenin 'Yaşam Döngüsü' birbirine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Teknolojik olarak sürdürülebilirliğin de içinde bulunduğu program veya eklentilerin mevcut bulunduğu görülmüştür. Sürdürülebilirlik programları yapının hizmet süresinde malzemenin yorulmasını da ele alarak onarım tablosu da sunmaktadır (Tang vd., 2019). BIM'ın en önemli özelliği yapısının değişken ve ileriye doğru büyüme özelliği taşımasıdır. BIM'le birlikte dijital teknolojilerindeki

gelişim; veri analitiği, makine öğrenmesi ve derin öğrenme, nesnelerin interneti, Yapay Zeka ile hızla yayılarak ilerlemektedir (Boje vd., 2020).

Bu aşamada yazılım programları arasında geçiş sağlayan IFC (Industry Foundation Class) dosya aktarım yöntemi kolaylık sağlamaktadır. Bu yazılımlar olarak Revit DB link, Dynamo, Grasshopper gibi programlar desteklenmektedir. Revit DB link C♯ dili kullanılmıştır. Bir başka konu ise Makro yazımı ile MS Excel ve MS Access ile gerekli hesaplamaların yapılması da gündemdedir (Tang vd., 2019).

Bir başka konu ise yapılan araştırmada 2018 yılından sonra ortaya çıkan Sanal Tasarım ve İnşaat (Virtual Design and Construction) veya Dijital İkiz (Digital Twin) kavramlarıdır. Bu kavram inşaatın önce dijital olarak sanal ortamda yapılması ve gerçeğe geçirilmesini içerir (Boje vd., 2020). Fiziksel birleşenlerin sanal modelle veri bağlantısı oluşturmasına "Dijital ikiz" denir (Grieves, 2015)."Dijital ikiz" kavramı 2003 yılında (20 yıl önce) ürün yaşam döngüsü yönetimi konusuyla ilk kez ortaya çıkmıştır (Grieves, 2015). Uzay ve havacılık konusunda ilk kez kullanılmaya başlanmıştır. Bu kavram "Yapısal ömür tahmini yönetiminin yeniden mühendisliği" olarak açıklanmıştır (Tuegel vd., 2011). Sonradan ürün imalatında yaygınlaşan (Boschert & Rosen, 2016; Schleich vd., 2017) bu kavramın şu anda akıllı şehirler üretimi için kullanılması gündemdedir (Mohammadi & Taylor, 2017).

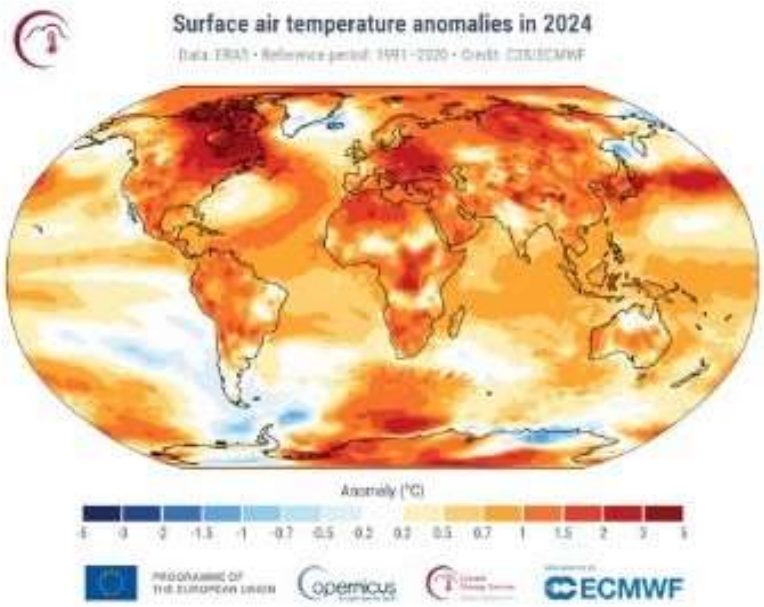
Dijital İkizin fiziksel ve sanal ortamda eş zamanlı ilerletilmesi önem taşımaktadır. Eş zamanlı ilerletilmesi, projenin doğru şekilde ilerlemesine olanak sağlamaktadır. Projenin ilerisi veya gerisinde kalınması; takibin güçleşmesine neden olmaktadır. Projeyi güncellemeye olanak tanıyan programlama sistemi inşaatın sağlıklı olarak ilerlemesinde önem arz eder (Boje vd., 2020).

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR İNŞAAT

Bu bölümde Döngüsel ekonominin inşaattaki yansımaları olarak özetleyebileceğimiz konular ele alınacaktır. Bu kavramların içinde dijitalleşme, sürdürülebilir malzeme kullanımı, atık yönetimi gibi alt başlıklara sahiptir. Bu kavramlar aşağıda açıklanmıştır.

3.1. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE İNŞAAT SEKTÖRÜ

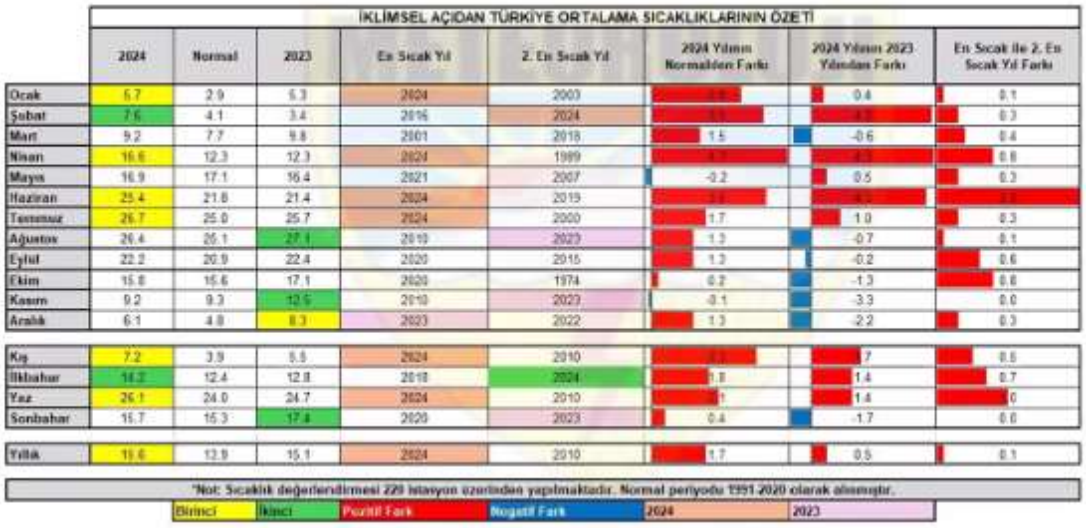
İnşaat sektörünün hızla büyümesi küresel ekonomik büyümeyi tetiklemiştir. Bu yüzden Dünya çapında birçok ülkede önemli çevresel bozulma vakaları oluşmuş ve Dünya'da iklim krizi ortaya çıkmıştır. Bunu önlemek için; Dünya'nın izlemeye çalıştığı politika hedefi, 2050 yılında net sıfır karbon salınımıdır (L. Chen vd., 2023). Türkiye için bu hedef 2053 yılı olarak koyulmuştur (Tolunay, 2025).



Şekil 3.1. Dünyada 2024 yılına ait İklim Krizinin Sıcaklık Artışı, (Tolunay, 2025).

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi İklim krizi tüm dünyayı etkisi altına almıştır. Şekildeki ölçü aralığında gözüktüğü gibi Türkiye'de konum itibariyle 1,5-2,0 derece anormali yükselme gözükmektedir. Daha detaylı olarak Türkiye incelendiğinde Çizelge 3.1'de de belirtildiği gibi mevsimsel sıcaklık 1,5-2,0 derece arası olurken zirve sıcaklık değeri farkında 4 dereceye kadar arttığı gözükmektedir.

Çizelge 3.1. İklimsel Olarak Türkiye Ortalama Sıcaklık Özeti, (Tolunay, 2025).



İKLİMSEL AÇIDAN TÜRKİYE ORTALAMA SICAKLIKLARININ ÖZETİ

	2024	Normal	2023	En Sıcak Yıl	2. En Sıcak Yıl	2024 Yılının Normallere Farkı	2024 Yılının 2023 Yılından Farkı	En Sıcak ile 2. En Sıcak Yıl Farkı
Ocak	5.7	2.9	5.3	2024	2003	2.8	0.4	0.1
Şubat	7.6	4.1	3.4	2016	2024	3.5	4.2	0.3
Mart	9.2	7.7	9.8	2001	2018	1.5	-0.6	0.4
Nisan	16.6	12.3	12.3	2024	1989	4.3	4.3	0.8
Mayıs	16.9	17.1	16.4	2021	2007	-0.2	0.5	0.3
Haziran	25.4	21.8	21.4	2024	2019	3.6	4.0	4.6
Temmuz	26.7	25.0	25.7	2024	2000	1.7	1.0	0.3
Ağustos	26.4	25.1	27.1	2010	2023	1.3	-0.7	0.1
Eylül	22.2	20.9	22.4	2020	2015	1.3	-0.2	0.6
Ekim	15.8	15.6	17.1	2020	1974	0.2	-1.3	0.8
Kasım	9.2	9.3	12.5	2010	2023	-0.1	-3.3	0.0
Aralık	6.1	4.8	8.3	2023	2022	1.3	-2.2	0.3
Kış	7.2	3.9	5.5	2024	2010	3.3	1.7	0.5
İlkbahar	14.2	12.4	12.8	2018	2024	1.8	1.4	0.7
Yaz	26.1	24.0	24.7	2024	2010	2.1	1.4	1.0
Sonbahar	15.7	15.3	17.4	2020	2023	0.4	-1.7	0.0
Yıllık	13.6	12.9	15.1	2024	2010	1.7	0.5	0.1

*Not: Sıcaklık değerlendirmesi 229 istasyon üzerinden yapılmaktadır. Normal periyodu 1991-2020 olarak alınmıştır.

Birinci | İkinci | Pozitif Fark | Negatif Fark | 2024 | 2023

Gelecekle ilgili iklim değişikliği ve sonuçları arasında küresel sıcaklıkta artış, aşırı hava koşullarında artış, deniz ve kara ekosistemlerinin tahrip olması, deniz seviyesinde yükselme, biyolojik çeşitlilik kaybı ve bazı türlerin yok olması öngörülmektedir (Mora vd., 2018; Y. Wang vd., 2021).

Çevreyi etkileyen faktörlerde inşaat sektörü, iklim değişikliğinin %50'sini, enerji kullanımının %40'ını ve çöp sahalarındaki atıkların %50'sinden sorumludur (Khahro vd., 2021).

Bundan dolayı, karbon emisyonlarının azaltılması için uyarlanmış hükümet politikaları, karbon emisyon analizine ve hesaplama modellerine ayrıca sürdürülebilir malzemelere gereksinim duyulmaktadır. Bina yaşam döngüsü boyunca karbon emisyonlarının analizine bakıldığında, inşaat aşamasının toplam karbon miktarının %20-50'sini oluşturduğunu görülmektedir. İnşaat aşaması yıllık emisyonlarının işletme aşaması emisyonlarına oranı ortalama 0,62'olarak Chen ve arkadaşlarının 2023 yılında yaptığı çalışmada bulunmuştur. Çalışmanın bir başka iddiası, iklim krizini çözmek için yeşil inşaat teknolojilerinin gelişmesiyle olacağı yöndeki görüşleridir. Bunun için, yeşil inşaat politikası çerçevesinde ve sıfır karbon salınımı teknoloji yol haritasından ayrılmayarak yapılabileceği Chen tarafından çalışmasında vurgulanmıştır (L. Chen vd., 2023).

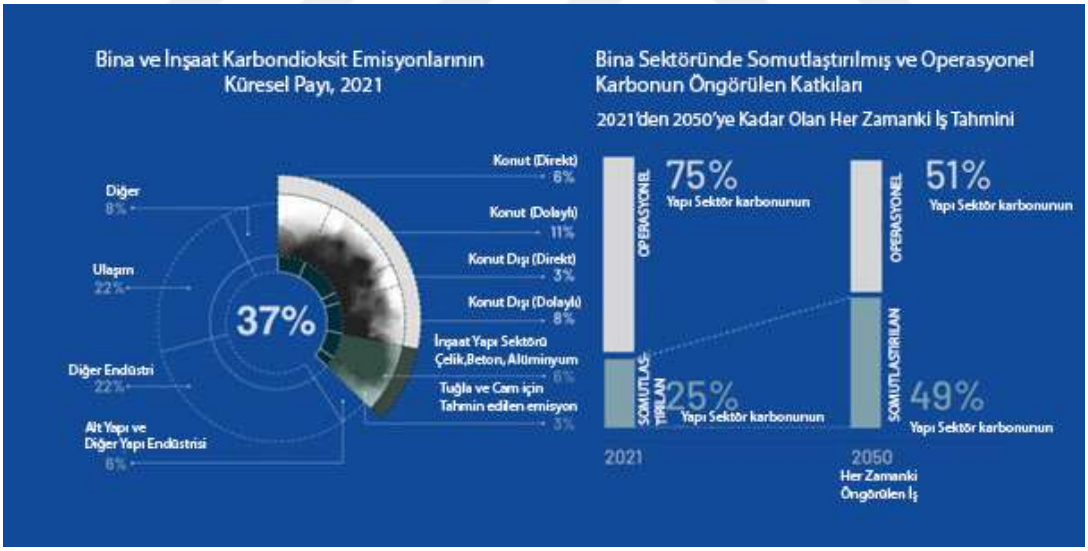
Asıl hedeflenen inşaat sektörünün daha sanayileşmiş bir yaklaşımın uygulanmasıdır. Bu olgu genişletirilse; inşaat sürelerinin iyileştirilmesi, maliyetlerin düşürülmesi, yüksek kaliteli projeler, üretkenliğin artırılması, inşaat atıklarının azaltılması, belirsizliklerin azaltılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, proje entegrasyonunun ve müşteri memnuniyetinin artırılması ve işgücü eksikliklerinin giderilmesi gibi faaliyetlerle

sağlanabilmesi öngörülmüştür (Kamali & Hewage, 2016). Bu kavramların yanı sıra yenilikçi rekabet gücü, inşaat piyasasının gelişim takibi ve bu suretle politikanın izlenmesi mühimdir (Wuni & Shen, 2019).

3.2. SÜRDÜRÜLEBİLİR İNŞAAT VE TERİMLERİ

Sürdürülebilir İnşaat, sürdürülebilir kalkınmanın inşaat sektörünü içeren kısmıdır. Geleneksel inşaat yönetimi yaklaşımını reddeden, yeniliklerin ve yatırımların ekonomik büyümeye katkı sağlayan son tüketicilerin ihtiyaç ve isteklerinin karşılandığı, yeni nesil bir inşaat yönetimidir. Temel amaç, inşaat sektörünün ve malzemelerinin çevreye verdiği zararı en az seviyeye çekebilmektir (Baloi, 2003). Çevresel, sosyal ve ekonomik anlamda kalkınmayı hedefler (Antón & Díaz, 2014).

"Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri Merkezi-Sustainable Building Materials Hub-bulunmaktadır. Merkezin amacı, "Yapı malzemeleri ve inşaat endüstrilerinin karşı karşıya olduğu en acil sürdürülebilirlik ve çevre sorunlarından bazılarını ele alınması ve çözüme ulaştırılması"dır (Global ABC, 2025).



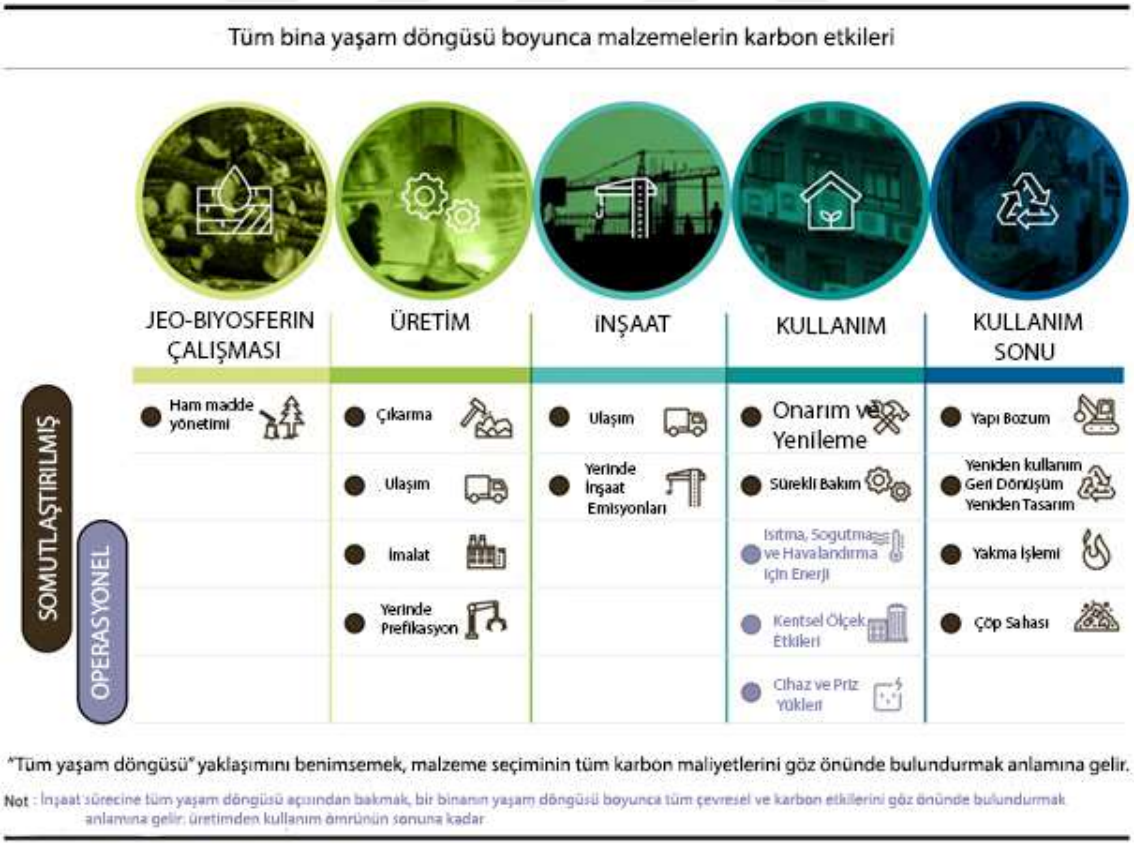
Şekil 3.2. 2021 Yılına Ait Bina Sektörünün Durumu Ve 2050 Yılı Ön Görüsü (UNEP-United Nations Environment Programme -report /GlobalABC,2022)

Şekil 3.2'de 2021'de sektör, toplam enerjiyle ilgili emisyonların yaklaşık %37'sini bina sektörü dışını temsil ediyordur ve yapı malzemesi olarak emisyonların yaklaşık %9'u binaların inşasında kullanılan malzemelerden (yani beton, çelik, alüminyum, cam ve tuğlalar) kaynaklandığı gözükmektedir. Konut için harcanan karbondioksit emisyonunun

küresel payı %28 olarak hesaplanmaktadır. Grafikte gelecekle ilgili tahminde yaklaşık değer olarak %25 olarak alınmıştır. Şu anki büyüme hızıyla ve teknolojik gelişmelerin ilerlemesiyle yapı sektörünün somutlaştırılan (inşaat sürecini kapsayan) kısmının 2050 yılında %49'a ulaşması öngörülmektedir (Global ABC, 2025). Somut karbon emisyonlar malzeme çıkarılması, inşaat, bakım ve bertaraf edilmeden kaynaklanmaktadır.

Şekil 3.3'te bir binanın tüm yaşam döngüsü boyunca oluşan karbon etki aşamaları vardır. Bir yapının tüm yaşam döngü değerlendirmesi açısından beş aşama vardır. Bunlar; jeo-biyosferin çalışması, üretim, inşaat, kullanım ve kullanım sonu olarak adlandırılırlar. Şekil 3.3'te bu alt adımlar işlenmiştir.

Somutlaştırılmış karbon etkileri; "ilk hammaddenin yönetimi, çıkarma, ulaşım, imalat, yerinde prefabrikasyon, inşaatta ulaşım, yerinde inşaat, onarım ve yenileme, sürekli bakım, yapı bozum, yeniden kullanım, geri dönüşüm, yeniden tasarım, yakma işlemi ve çöp sahası" aşamalarından oluşmaktadır. Binanın işletimi sırasında kullanılacak olan ısıtma, soğutma ve havalandırma için enerji, kentsel ölçek etkileri, priz ve cihaz yükleri yaşam döngüsünde bilinmeyen işletim yükleridir (Global ABC, 2025).

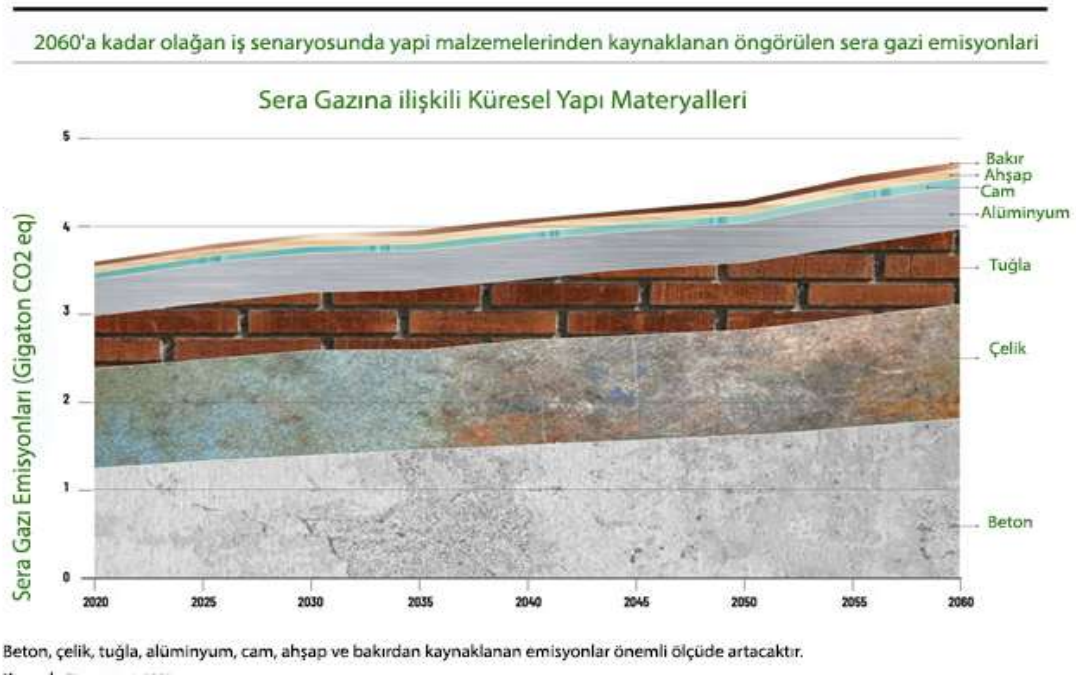


Şekil 3.3. Binanın Tüm Yaşam Döngü Boyunca Oluşan Karbon Etki Aşamaları, (UNEP, 2023)

Yapı malzemeleri sektöründe, düşük karbonlu ve sorumlu bir şekilde tedarik edilen malzemeler ile daha iyi tasarım ve inşaat uygulamaları ve enerji verimliliği konuları üzerinde yeni normların dikkate alınması yaygın bir uygulama haline gelmezse, şu anda yüksek karbonlu bir kalkınma yolu için bir "kilitlenme" riski oluşabileceği Şekil 3.4 gözükmektedir (UNEP, 2023).

Sürdürülebilir seçeneklerden oluşan uygulanabilir bir döngüsel tedarik zinciri oluşturmak için, hammadde çıkarmadan kullanım sonuna kadar bina yaşam döngüsünün tüm aşamalarında etkili düzenleme hayati önem taşımaktadır (Global ABC, 2025).

Karbon emisyonunu büyük ölçüde etkileyen bir diğer faktör, Akıllı Şehirler oluşturulurken alınacak olan önemlerdir.



Şekil 3.4. İnşaat Malzemeleri İçin 2060 Yılı İş Senaryosu, (UNEP, 2023).

Bu önlemler 3 adımda açıklanabilir. “Kaçın-Değiştir-Geliştir” (Avoid-Shift-Improve) olarak amaçlanmaktadır. Bunlar:

- *Kaçın*: Daha az malzeme kullanarak aşırı malzeme kullanımı ve yeni malzeme çıkarılması, mümkün olan her yerde binaların ve malzemelerin yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi.
- *Değiştir*: Yüksek etkili geleneksel malzemelerden uzaklaşarak kereste, bambu ve biyokütle gibi yenilikçi, dünya ve bio-bazlı malzemelere doğru yönenilmesi.

• *Geliştir*: Geleneksel, yenilenemeyen ve yüksek karbonlu malzemeler- beton, çelik ve alüminyum gibi - ve bunları yalnızca gerekli olduğunda kullanılması.



Şekil 3.5. İnşaat Sektöründe Kaçın-Değiştir-Geliştir Yaklaşımı, (UNEP, 2023).

Şekil 3.5'ta bir yapı için baştan sona kadar gerekli olan tüm yaşam döngü değerlendirmesinin güncellenmiş yeni yaklaşımını vermektedir. Karbon salınımının önüne geçmek ve dünyaya dost inşaat üretimini ve hizmet sürecini doğru yönetmek önem taşımaktadır. Kaynak kullanımında yerel değer zincirlerinin kullanılması, tedarik zincirlerinin standartlara uygun olarak belgelendirilmesi, alternatif malzemelerin belirlenmesi ve belirlenen alternatif malzemelerin yerine göre enerji verimliğine ve karbon salınımının azaltmasına göre malzeme tercihlerinin değiştirilmesi dünya çapında önem göstermektedir (Global ABC, 2025).

3.2.1. Yeşil Yapı Malzemeleri

Sürdürülebilir inşaat için yeşil yapı malzemelerinin inşaat alanında kullanılması gerekmektedir. Yeşil malzeme; çevre dostu, sağlıklı ve iç mekan kalitesini artıran malzemelerdir. Yani, bulunulan ortamlarda insanların tehlikeli ve zararlı maddelerden etkilenmelerinin riskini en aza indirmeyi amaçlayan malzemelerdir (Maleknia vd., 2014). Bu açıdan bakıldığında; yeşil malzemeler kullanımı ile elde edilen fayda, dünya için çevresel yükü azaltmak ve hammaddeyi geri dönüşüm imkânı vermek, atık bertarafı bakımından ön incelemeyle hammaddenin uygunluğunun kabulü ve üretimini sağlamaktır (Vaidya vd., 2023).

Yeşil yapı malzemeleri ilk olarak, insan sağlığı için güvenli olan, yani iç mekân hava kalitesi bazında olumsuz etkilere yol açmayan ve sonrasında tüm yaşam döngüleri boyunca sürdürülebilir olan, sürdürülebilir gelişimleri beşikten mezara kadar sürdüren bir bakış açısıyla LCA yaklaşımı dahilinde kanıtlanabilen (sertifika edinmiş) malzemelerdir (Huijiang Wang, 2023).

Yeşil malzemelere örnek vermek gerekirse; bunlardan bazıları şunlardır (Wei vd., 2024):

- Geliştirilmiş köpük cam,
- Yeşil duvarlar,
- Ekolojik çimento,
- Yeşil betonlu duvar yapımının kompozit malzemeleri

gibi pratik yeşil yapı malzemeleridir.

Örneklendirilirse; bir binanın dış duvar yapı elemanının üretilmesi önem taşır. Bunun sebebi işlevidir yani hava koşullarına karşı koruma, ısı yalıtımı, muhafaza sistemi için mekanik sağlamlık ve estetik açıdan hoş iç ve dış kaplama elemanı olmasıdır. Binanın içi ve dışı, pencereler, kapılar, havalandırma delikleri vb. açıklıklar ile birbirine bağlıdır (Huijiang Wang, 2023).

Yeşil yapı malzemelerinin kullanımıyla birlikte akıllı yapı elemanları yapımıyla (tasarımıyla) enerji verimliğini en üst seviyeye çıkarabilecek güneş kırıcılar tasarlanmaktadır (Huijiang Wang, 2023). Şekil 3.6'de güneş kırıcıya örnek verilmiştir.



Şekil 3.6. Enerji Verimliliği Sağlayan Akıllı Güneş Kırıcılar(iyi gün yapı, 2025).

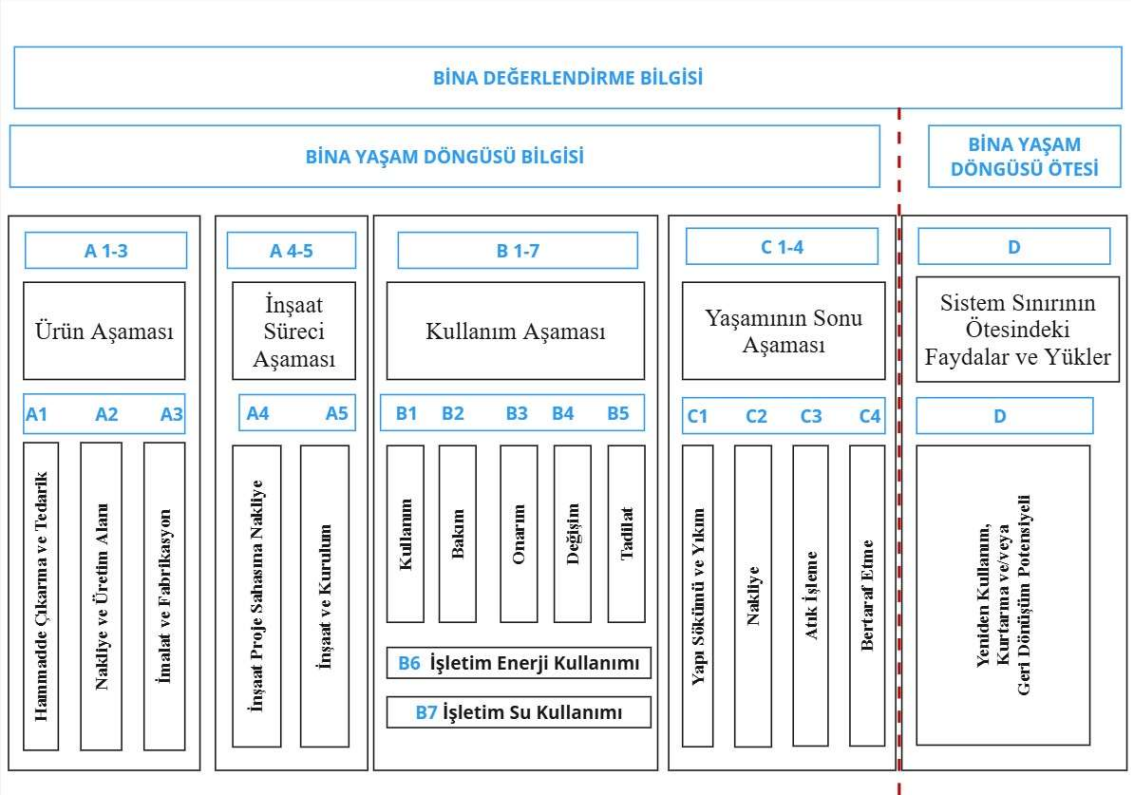
Yeşil inşaat sektöründe, bir yapının yapılması ve projelendirilmesi esnasında su ve elektrik kaynaklarını inşaat alanında yenilenebilir sistem çözümleriyle yaklaşıldığı zaman yerel çözüm oluşturulacaktır. Bu yerel çözüm su için yağmur sularının biriktirilmesi ve

elektrik için rüzgâr ve güneş enerjisi panellerine baş vurmak ve klima kullanımını azaltmak için dış cephede güneş kırıcılardan faydalanmaktır (Tafesse vd., 2022).

3.2.2. Yaşam Döngü Değerlendirme (LCA)

Bina LCA; bir binayı oluşturacak olan hammadde çıkarımından başlayarak yapı malzemesi ürünü olmasına, bu ürünlerin şantiyeye gelip inşaatının yapılmasına, inşaatın kullanımına, kullanımından yapısökümüne kadar olan sürece denir. Sürdürülebilirlik açısından yapısökümü ötesi yeniden kullanım, geri dönüşüm, malzemenin azaltılması (3R: Reduce, Reuse, Recycle) faktörleri vardır. Böylece israfın önüne geçilmiş olunmaktadır (Jiang vd., 2019). Bu yaklaşım, Yalın İnşaat yaklaşımına yakınlık göstermektedir. O yüzden ilerleyen bölümde Yalın İnşaattan da bahsedilmiştir.

Somutlaştırılmış ve operasyonel (kullanım süresi) enerji düzeylerinin bilinmesi açısından çok fazla bilinmez vardır. O yüzden Şekil 3.7'de Bina Değerlendirme Bilgisinin aşamalara ayırmak gerekmiştir. Bu ayrım standartlara bağlı olarak yapılmış ülkelerin kendi çıkardığı yönetmeliklere göre farklı hesaplanmalara tabiidir (Harter vd., 2020). Kıtalar arasında bile farklı genel yaklaşımlar ve kriterler vardır. Bunlar orijinal ve Türkçe olarak Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3sırayla verilmiştir.



Şekil 3.7. Bina Değerlendirme Bilgisi Gösterimi, (Harter vd., 2020).

CML (Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden) ve TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts) iki farklı Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme (LCIA) yöntemidir. CML Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. TRACI ise Kuzey Amerika'da kullanılmaktadır. İkisinin de ortak hedefi; belirli bir ürün veya süreç için çevresel etkileri belirlemek ve karşılaştırmak ayrıca insan sağlığını riske atan etkenleri azaltabilmektir. CML ve TRACI çevresel etki kriterleri karşılaştırması (Poli, 2025).

Çizelge 3.2'te TRACI ile CML ait kriterler birimleri ile birlikte karşılaştırılmalı çizelgede orijinal dilinde sunulmuştur. Çizelge 3.3'de ise aynı çizelgenin Türkçeleştirilmiş hali vardır.

Çizelge 3.2. LCA Etki Göstergeleri ve Karakterizasyonu (orijinal dil),(Poli, 2025).

CML (required for EN15978 & EN15804 standards)	**Unit of measurement**	**TRACI**	**Unit of measurement**
Global Warming Potential (GWP)	$kgCO_2$-Eq/m³	Global Warming Potential (GWP)	$kgCO_2$-Eq/kg
Ozone Depletion Potential (ODP)	kgCFC-11-Eq/m³	Ozone Depletion Potential (ODP)	kgCFC-11-Eq/kg
Acidification Potential (AP)	$kgSO_2$-Eq/m³	Acidification Potential (AP)	$kgSO_2$-Eq/kg
Eutrophication Potential (EP)	$kgPO_4$-Eq/m³	Eutrophication Potential (EP)	kg N-Eq/kg
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	kgC_2H_4-Eq /m³ (ethylene-eq)	Smog Formation	kgO_3Eq/kg
Abiotic Depletion Potential / Fossil Fuel Depletion (ADP)	Antimony kg SB-Eq or MJ	Abiotic Depletion Potential / Fossil Fuel Depletion (ADP)	MJ

Çizelge 3.3. LCA Etki Göstergeleri ve Karakterizasyonu (Türkçe dilinde),(Poli, 2025).

CML (EN15978 & EN15804 standardları için gerekenler)	**Ölçüm birimi**	**TRACI**	**Ölçüm birimi**
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	$kgCO_2$-Eq/m³	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	$kgCO_2$-Eq/kg
Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli (ODP)	kgCFC-11-Eq/m³	Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli (ODP)	kgCFC-11-Eq/kg
Asitleştirme Potansiyeli (AP)	$kgSO_2$-Eq/m³	Asitleştirme Potansiyeli (AP)	$kgSO_2$-Eq/kg
Ötrifikasyon Potansiyeli (EP)	$kgPO_4$-Eq/m³	Ötrifikasyon Potansiyeli (EP)	kg N-Eq/kg
Fotokimyasal Ozon Üretme Potansiyeli (POCP)	kgC_2H_4-Eq /m³ (ethylene-eq)	Duman Oluşumu	kgO_3Eq/kg
Abiyotik Tükenme Potansiyeli / Fosil Yakıt Tükenmesi (ADP)	Antimony kg SB-Eq veya MJ	Abiyotik Tükenme Potansiyeli / Fosil Yakıt Tükenmesi (ADP)	MJ

Yukardaki kavramların açıklamaları One-Click LCA yazılımının eğitiminde verilen kaynaktan alınarak tanımları aşağıda yapılmıştır (Poli, 2025).

Küresel Isınma Potansiyeli (GWP); Bir sera gazının atmosferde ne kadar ısı hapsettiğinin göreceli bir ölçüsüdür ve karbondioksit eşdeğerleri cinsinden hesaplanır, yani emisyonun sera potansiyeli CO_2 ile ilişkili olarak verilir.

Ozon Tabakasını İnceltme Potansiyeli (ODP); Herhangi bir maddenin ozon gazını yok etme potansiyelini, 1 referans değeri atanan kloroflorokarbon-11 potansiyeli ile karşılanır ve bu değer, göreceli bir değeri temsil eder; ozon tabakasının toplam ozon azalmasının neticesidir.

Asitleştirme Potansiyeli (AP); Kısaca toprak ve suyun asitlenmesidir. Bunun sebebi; ağırlıklı olarak hava kirleticilerinin asitlere dönüşmesi yoluyla gerçekleşir ve yağmur suyu ve sisin oluşumuyla pH değerinin 5,6 ve altına düşmesi, ekosistemin zarar görmesine neden olur.

Ötrifikasyon Potansiyeli (EP); Azot ve Fosfor organik maddesinin suya geçmesiyle havayı, suyu ve toprağı aşırı yüklemeye maruz bırakıp ekosistemde bir zincirleme reaksiyon başlatır. Bu da, aşırı alg ve bitki maddesi sonunda ayrışarak yüklüce karbon dioksit üremesine sebep olur.

Fotokimyasal Ozon Üretme Potansiyeli (POCP) ve Duman Oluşumu, Güneşten gelen radyasyon, nitrojen oksitler ve hidrokarbonların varlığında ozon gibi agresif reaksiyon ürünlere dönüşmesidir.

Abiyotik Tükenme Potansiyeli / Fosil Yakıt Tükenmesi (ADP); Yenilenemeyen hammaddelerin küresel çapta miktarındaki azalmayı tanımlar ve arta kalan rezervlere ve çıkarma oranına dayalı olarak her bir mineral ve fosil yakıt çıkarımı için ayrı ayrı belirlenir.

3.3. EPD (ÇEVRESEL ÜRÜN BEYANI)

EPD, son zamanlarda; küresel iklim değişikliği ve işletmelerin çevresel etkilerinin azaltılması amacı ile politika yapıcılar tarafından sürdürülebilirlik, kalkınma ve tüketici davranışlarını değiştirmeye yönelik alınan kararların sonucu geliştirilmiş bir belge türüdür. EPD'nın altında yatan temel neden; imalatçısı tarafından ürününün daha çok tercih edilebilir hale getirme arzusudur. Bundan dolayı; imalatçılar, EPD uygunluk belgesi almaya yönelirler. Bu belgenin en fazla 5 yıl geçerliği vardır ve firma bulguları üçüncü taraf tarafından onaylandıklarında belgeyi edinebilirler. Devlin 2025'deki

çalışmasında inşaatlarda EPD'li malzemelerin kullanılmasının nedenleri şöyle özetler (Devlin, 2025);

- Yeşil bina sertifikasyonlarında puan kazanmak
- Somutlaştırılmış karbon mevzuatına uyum,
- Düşük karbonlu inşaat hedeflerini karşılamaktır.

İnşaat sektöründe bir projeye EPD'li ürün kullanan inşaat projesi, diğer projelerle karşılaştırıldığında geleceğe yatırım yapma ve maliyetleri düşürme amacı ile kendi projesini öne geçirmeyi hedeflediği söylenebilir.

EPD'li ürünlerin diğer ürünlere göre kıyaslanabilirlikleri daha kolaydır. Ürünlerin daha kolay ve maliyetsiz olmaları kendi içlerinde alınabilme kredilerini artırmaktadır. Üründen istenen özellikler belgelendirilebilir kalitede olması, LCA açısından öncelik yaratması ve daha az karbon salınımı yapmasıdır (Devlin, 2025).

İnşaat sektörü hakkında buraya kadar anlatılanların özeti; inşaat sektörü artık yapı malzemelerinde aradığı kriterleri yükseltmiş ve ürünlerde EPD arayışına girmiştir. Bunun dört sebebi vardır (Poli, 2025):

1. Çevresel talepleri karşılamak,
2. Fark yaratan ürünler geliştirmek,
3. Üretim ve süreç güvenilirliğini arttırmak,
4. İklim değişikliği ile savaşmak.

Bu karar doğrultusunda Dünya'daki politika yapıcılar tarafından ortaya koyulan standartlar sırasıyla aşağıda listelenmiştir (Poli, 2025).

ISO 14040: 2006: LCA'nın genel bir çerçevesini çizer

ISO 14044: 2006: LCA'nın genel çerçevesinin detaylı bir işleyişini sunar.

ISO 14025: 2006: EPD'e için yöntemleri ve kuralları belirler (Şeffaflık, sağlamlık ve tutarlılık gibi).

ISO 21930: 2007: İnşaat ürünleri için Amerika'ya ait EPD standartıdır.

EN 15804: 2012: İnşaat ürünleri için Avrupa'ya ait EPD standartıdır.

EPD dokümantasyon olarak birçok ülke kendi sistemini çıkarma ihtiyacı duymuştur (Bak. Çizelge 3.4 Bunun nedeni; her ülkenin hammaddelerinin ayrı olmasıdır yani farklı yapı malzemelerinden sürdürülebilir malzeme oluşturulmasıdır. Bu işlev sırasında tüm bina yaşam döngü değerlendirme performansları farklılık gösterir. Bu performanslardaki veri şeffaflığı hem mimarlar, mühendisler, tasarımcılar hem de imalatçılar için çok önemlidir (EPD Hub, 2025).

Çizelge 3.4 Ülkelere ait EPD Sistemleri Gerekli Gören Setifikasyon Programları, (EPD Hub, 2025).

SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNA DEĞERLENDİRME SİSTEMLERİ	ÜLKE
Green Star	Avusturalya, Yeni Zelanda ve Güney Afrika
HQE	Fransa
DGNB	Almanya
NS 3720	Norveç
RICS PS	İngiltere
Greater London Authority	İngiltere
Ympäristöministeriön vähähiilisyyden arviointimenetelmä	Finlandiya
Klimatdeklaration	İsveç
Living Building Challenge	Uluslararası
Zero Carbon Challenge	Uluslararası
Byggvarubedömningen	İsveç
Miljöbyggnad	İsveç
BREEAM	UK & Uluslararası
LEED	ABD & Uluslararası

3.3.1. EPD Oluşturma Adımları

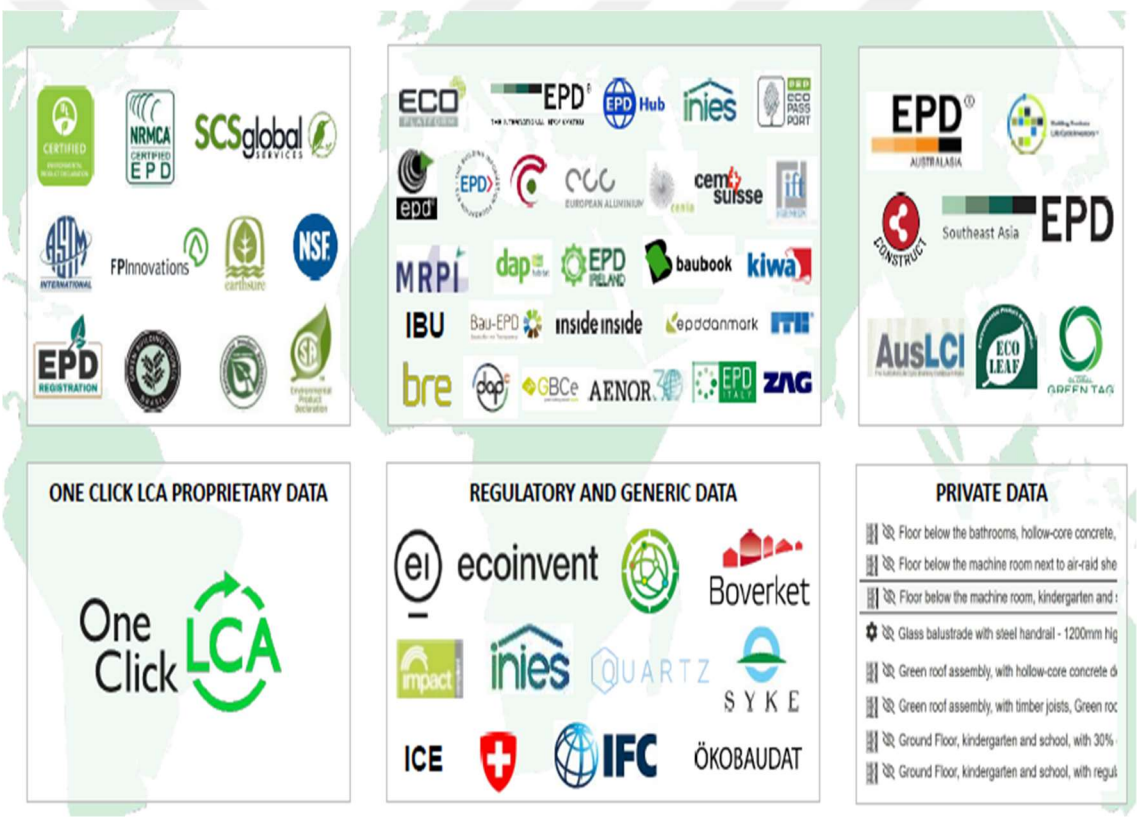
EPD oluşturmak, iklim krizini dünyaca aşmaya yardımcı ölçüm sistemlerinden biridir. Onun için One-Click LCA şirketi EPD oluşturma adımlarını 6'ya ayırmıştır. Bu adımlar izlenerek çok kolay bir şekilde EPD oluşturulur. EPD oluşturacak bir firma için adımlar şunlardır: (Poli, 2025):

1. **Stratejinizi oluşturun**: EPD için işlemlere başlamadan önce şirkete danışman mı tutacağınıza yoksa firmada devamlı bir uzman mı çalıştıracağınıza karar verilmesi,
2. **Veri toplama**: Genellikle malzeme çıkarma üretim, nakliye ve kullanım ömrünün sonunu kapsayan ürün yaşam döngüsü verilerini toplanması,
3. **LCA**: Kullanılacak EPD sistemine göre ürünün çevresel etkilerinin analizini yapılması,
4. **Arkaplan raporu**: Üçüncü taraf doğrulama işlevini destekleyen yaklaşım seçilmesi hakkında ayrıntıya ulaşılması,
5. **Üçüncü taraf doğrulama**: EPD basıma gitmeden önce bir üçüncü taraf tarafından doğruluk, güvenilirlik ve tutarlılık açısından kontrolünün yapılması.

Bu doğrulama adımı Dünya'da yeterlilik belgesi olan belli başlı veri doğrulayacıları tarafından yapılmaktadır.

6. **Yayınlama**: Doğruluğu kanıtlanan EPD kamuoyuna duyurulması ve ilgili programlarca değerlendirilmesi, bu adımlara dahildir.

Bu adımlardan sonra EPD kendini kanıtlamış olarak piyasada yerini alır. EPD'lerin kapsamları ülkelere göre değişir. Ülkelerin hâkim olduğu bilgi düzeyine göre beşikten kapıya, beşikten mezara veya beşikten beşiğe sistemleri; bilgi edinilebilen düzey seviyelerine göre kullanım süreci ve hizmetteki enerji kullanımı bazılarında dışarda bırakılarak hesaplanmaktadır. Bir fikir vermek amacıyla aşağıdaki Şekil 3.8'de hem LCA hem de EPD'nın birbiriyle bağlantılı One Click LCA'nın hazırladığı dünyadaki LCA ve EPD veri çeşitliği verilmiştir.



Şekil 3.8. Dünyadaki LCA ve EPD Veri Çeşitliği (Poli, 2025).

Çizelge 3.5'te EPD'li inşaat ürünlerinin çevresel etkilerinin özellikleri mevcuttur. Bu etkiler hammaddelere göre kategorize edilebilir. Bu hammaddeleri One-Click LCA firması, yazılımıyla LCA aşamalarına göre hammadde olarak kullanılan malzemeleri dört ana grupta toplamışlar. Bunların karışımını ise 5. Grup olarak kompozit malzemeler olarak adlandırmışlardır (Tsikos, 2025).

Çizelge 3.5. Malzeme Gruplarının Çevresel Etkilerinin Tablosu, (Tsikos, 2025).

	Mineral bazlı	**Metal Bazlı**	**Kimyasal bazlı**	**Bio-bazlı**	**Kompozitler / Montajlar**
Hammadde	Kolay çıkarılan ve tipik olarak yerel malzeme	Çıkarılması enerji yoğunluğu içeren o yüzden genelde dışardan alınan malzeme	Petrol, doğal gaz ve bio-bazlı kimyasallar. Yukarı akış emisyonları	Odun, bitki lifi, yün veya mantar olur. Bio bazlılar karbonu depolar.	Önceki herhangi bir karışım veya kombinasyon
İmalat	Kireç taşı, alçıtaşı için termal ve kimyasal karbon etkileri	Çok yoğun enerji gerektiren birincil üretim, ayrıca proses emisyonları	Çoğunlukla öncül üretimde, daha azı ise nihai üretimde	İyileştirilse bile genellikle nispeten düşük etki gösterir.	Montajlar için sınırlı alana sahiptir, kompozitler için genellikle daha yüksek oranlıdır.
Ulaşım	Genellikle yerel fakat kütlesel malzemeler	Emtialar-uzun mesafelerde taşıma	Malzemeye bağlı olarak sınırlı	Çok uzun olsa bile hafif malzemelerdir.	Ürün kütlesine ve değerine bağlıdır
Kullanma	Çok uzun süre dayanır. Kullanımda karbonlaşabilir. Termal kütleye sahiptir.	Çok uzun sürer.	Kullanım ömrü uygulamalara ve maruziyetlere bağlıdır.	Genellikle iyileştirilir (ancak bu bir seçimdir), bakımı artırır.	Ürüne bağlıdır.
Yaşam sonu	Eğer parçalanabilirse, yeniden kullanılabilir veya alternatif olarak ezilebilir.	Sökülmesi kolaydır. Sonsuza kadar geri dönüştürülebilir. Ticari olarak kurtarılmıştır.	Genelde katı atık depolama alanlarında bertaraf edilmekle birlikte hammaddeye dönüştürülme çalışmaları devam etmektedir. Şu sıralar, çöp alanlarına atılıyor veya yakılıyor ancak daha fazla hammaddeye dönüştürülme evresinde.	Şu sıralar genellikle yakılmakta/atılmaktadır, ancak yeni uygulamalar için kurtarılabilir.	Kompozitler için geri kazanımı zor ancak montajlar olduğu gibi kullanılabilir.

3.4. YALIN İNŞAAT

Yalın İnşaat, yalın kavramından doğmuştur. Buna en yalın düşünme biçimi olarak da adlandırılır. Bir şeyin değerini tam olarak tanımlamayı, verimliliği artırmak için gereksiz müdahaleleri azaltmayı, ürünleri kullanıcı ihtiyaçlarına daha fazla yönlendirmek için daha azıyla daha fazlasını yapmayı ve değer yaratırken israfı ortadan kaldırmayı sağlamaktır. Yalın düşünme kavramı 5 ilkeyle tanımlanabilir (Womack & Jones, 1997):

- İsrafı ortadan kaldırmak,
- Değer akışını oluşturmak,
- Akışı teşvik etmek,
- Çekme üretimini uygulamak,
- Mükemmelliği aramak.

Yalın düşüncenin uygulanması için bazı stratejiler ve yönetim metotları vardır:

Tam zamanında üretim -Just-In-Time-(JIT): Üretimde kullanılacak envanterleri üretim hızına göre minimumda tutma faaliyetidir. Hedef sıfır envanterdir (Hopp & Spearman, 2011).

Üretimdeki İşlerin Azaltılması - Reducing Work-In-Process (WIP): Üretimdeki işler. JIT'nin sıfır envanter teorik hedefine rağmen, sıfır WIP ile bir üretim sistemini sıfır hatayla işletmek mümkün olmadığından; JIT riskini almaz. Uygulamada, yalın üretim, sistem verimini sürdürebilmek için bir kısım envantere yer verilir; yoksa küçük bir aksamada tüm işler durur (Reinertsen, 2009).

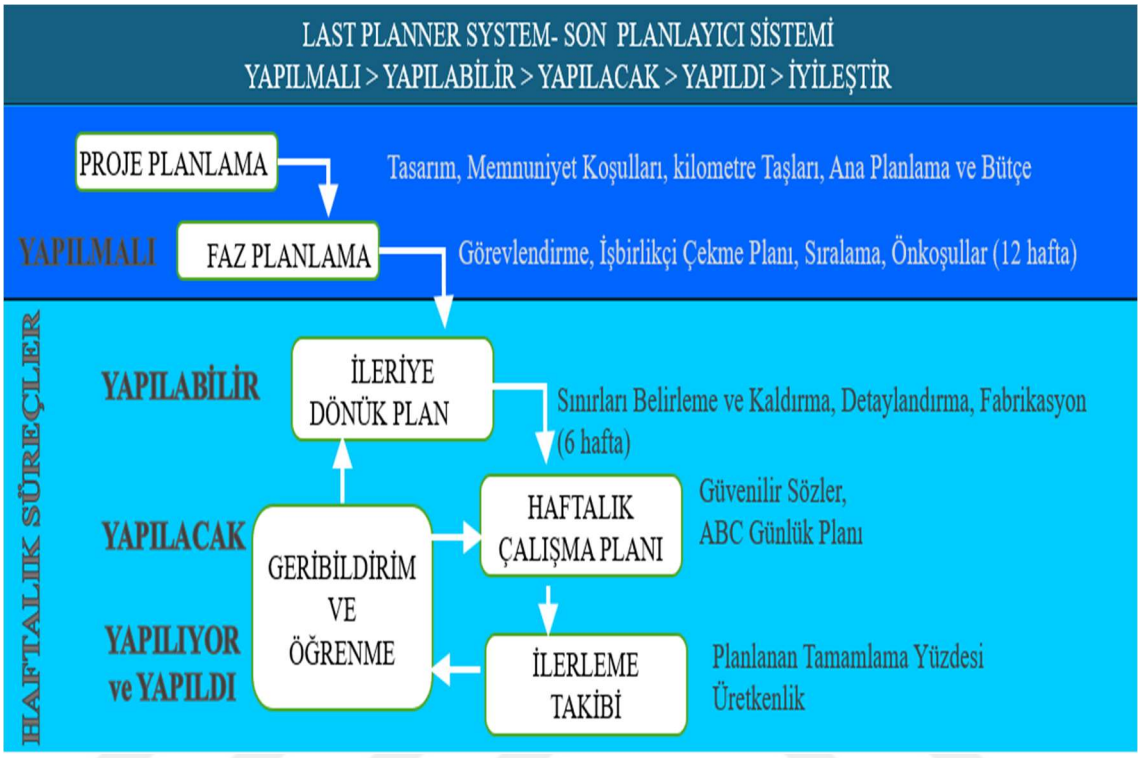
Döngü Süresinin Kısaltılması- Reduction of Cycle Time-: Yalın üretimde döngü süresinin kısaltılması, performans ve verimlilik kriterlerini belirler. Temel operasyonel ölçüt için döngü süresinin kısaltılması önemli bir kıstastır (Reinertsen, 2009).

Parti Boyutunun Azaltılması- Reduction of Batch Size-: Malzemelerin sorunsuz ve hızlı akışını sağlamak için parti boyutlarını küçük tutmak önem kazanır. Yapılan değerlendirmede döngü süresini de azalttığı ispatlanmıştır (Reinertsen, 2009).

Kaizen: Kaizen, üretkenliği kademeli olarak ve metodik bir süreç içerisinde iyileştirmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. İsrafı ortadan kaldırmak amacıyla süreçte sürekli iyileştirme uygulaması gerekliliğini savunur (Hopp & Spearman, 2011).

Yukardaki tanımlanan yaklaşımlarla, Yalın düşünme biçimi işleri parçalara ayırma ve yapılabilirliğini sağlama açısından Son planlayıcı sistemi- Last Planner System-(LPS)

oluşturuldu. Şekil 3.9'da LPS'nin önemli bir parçası, ileriye dönük planlama işlevidir ve LPS'nın başarısı, iş akışını şekillendirmek ve iş akışına uygun iş gücü ve kaynakları sağlayabilmek altında yatar (Ballard, 2000). LPS, proje yönetiminde işbirliği, görevlendirme, şeffaflık ve sürekli iyileşme içerir.



Şekil 3.9. Last Planner System akış diyağramı (http://dbteam.com'dan uyarlama)

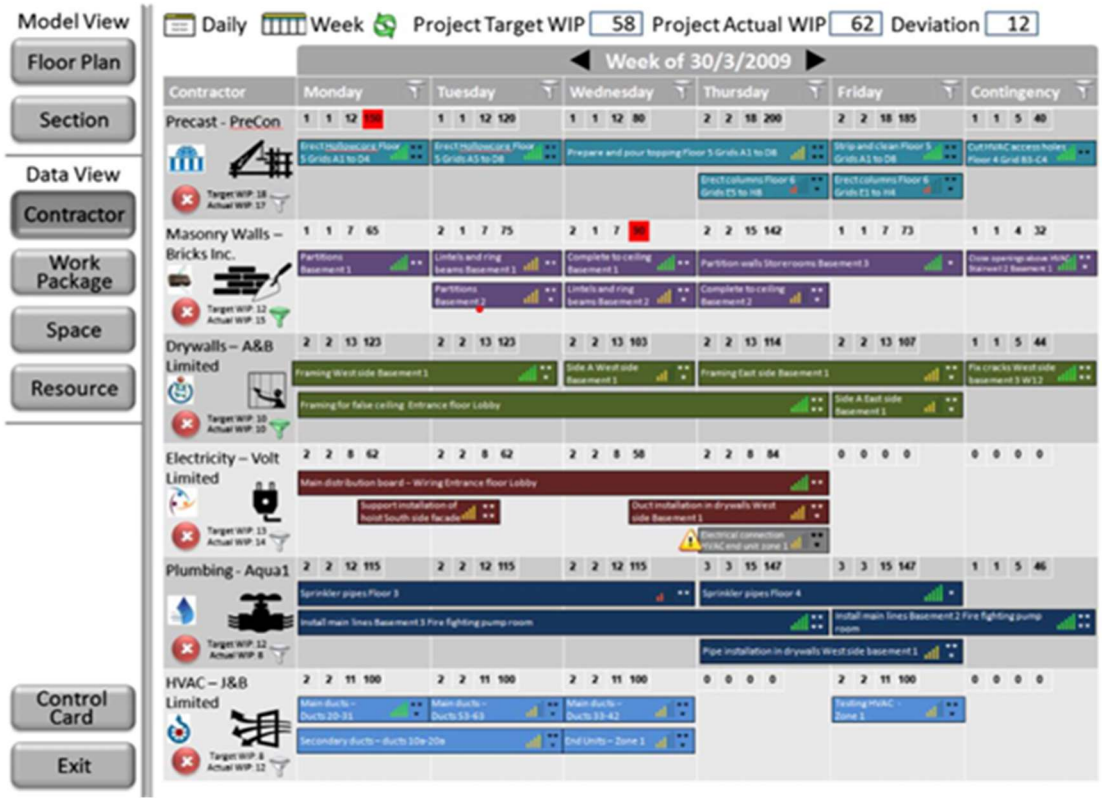
Sürdürülebilirlikten önce Yalın İnşaat, üretim atıklarının ortadan kaldırmaya odaklıyken sürdürülebilirlik kavramından sonra çevresel atıkların daha az oluşmasının sağlanması gündeme gelmiştir. İnşaat sırasında oluşan üretim atıkları; su, hava ve kara kaynaklarının çevresel atıklar ile ilişkilidir (Golzarpoor vd., 2017).

Yalın inşaat yönetimi olarak yeni yazılımlar geliştirilmektedir. Şekil 3.10'da bu yazılımlardan biri KanBIM yazılımı yer alır. Yazılım mantığı üç boyutla son planlayıcı sistemi ele almaktadır. Grafiksel veriler kadar grafiksel olmayan verilerin girişi, işin hangi aşamada olduğu programda belirtilmektedir (Sacks vd., 2013).



Şekil 3.10. Örnek KanBIM Yazılımının Kullanılışı, (Sacks vd., 2010).

Elektrik, tesisat, kat, yangın söndürme sistemi, sıva vb işlerin kalemleri yazılımda birbir yer almaktadır. Şekil 3.11'de görüldüğü üzere programa birçok veri girdisi ve durumu belirtilebilmektedir. Programa gerek zaman süreci gerek işdurumu belirtilebilinmedir.



Şekil 3.11. KanBIM Yazılımının Haftalık Planının Alt Yüklenicilere Uygulanması, (Sacks vd., 2010).

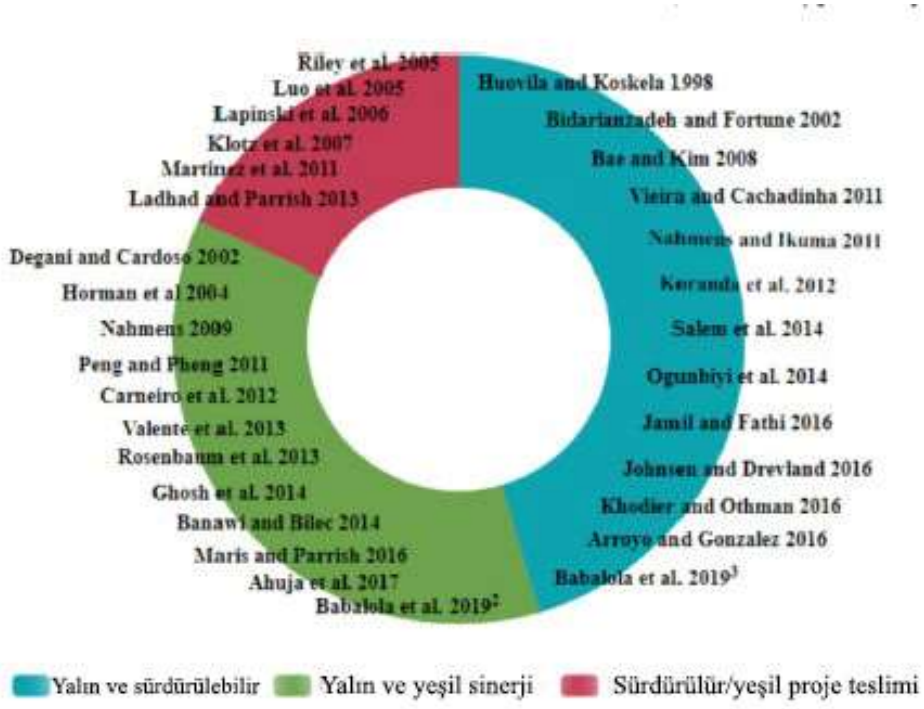
Güncellemelere izin veren program, gerektiğinde saat cinsinden ne kadar geride kalındığını hesaplamakta, işgücü kararlılık oranı olarak yüzde cinsinden artı ve eksi tarafları verebilmektedir (Sacks vd., 2013)

Li ve arkadaşları tarafından 2020 yılında Şekil 3.12'de yer alan çalışma Çin için Yalın İnşaat kavramını araştırmıştır. Çalışma sonucunda 2013 yılından günümüze hızla artan bir üretim süreci geçişi olduğunu saptamıştır. Çin'de yapı sektörünün 2011 ve 2014 yılları arasında BIM'e geçmesinin verdiği imkan sayesinde Çin için hızlı gelişim başlamış olduğu belirtilir. Çalışmalarında; inşaatta etkili malzeme yönetimi, doğru insan kaynaklarının kullanımı, inşaat maliyeti azaltma ölçüleri, proje maliyet kontrol amacı dolaylı bir şekilde sağlandığı saptanmıştır (S. Li vd., 2020).

Yalın inşaat, daha inşaat sektörünün sürdürülebilir kalkınmaya ulaşması için, sosyal ve çevresel hedefler belirleyerek yaptığı prosesi hayata geçirmenin çevresel olarak sağladığı faydalardan daha iyi olduğunu belirtir (Vieira & Cachadinha, 2011).

Franci ve Thomas'ın 2020'de yaptığı Yalın İnşaat literatür tarama çalışması 3 başlıkta toplamıştır (Francis & Thomas, 2020):

- Yalın ve sürdürülebilir (13 makale)
- Yalın ve yeşil sinerji (12 makale)
- Sürdürülür/yeşil proje teslimi (6 makale)



Şekil 3.12. Yalın İnşaat Üzerine Literatür Taraması, (Francis & Thomas, 2020).

Toplam 31 makaleye ait tartışma konuları Françis ve Thomas'ın çalışmasında tek tek incelenmiştir. Çalışmalarında "Yalın Enerji Analizi-Lean Energy Analysis-(LEA)"nin tanımı yapılmaktadır. Bu tanımda binalarda enerji tasarrufu seçeneklerinin belirlenmesi ve enerji eğilimleri değerlendirilerek ilerisi için yapılan tahmin sonuçlarına göre malzeme seçiminin önemini vurgulanmıştır.

3.5. İNŞAAT TÜRLERİ

Yapıların tasarımı ve yapımında iki tür inşaat stili vardır. Bunlardan biri alışılagelmiş klasik olarak da adlandırılan konveksiyonel inşaat ve konveksiyonel olmayan inşaat türüdür. Şekil 3.13'de Konveksiyonel inşaat çoğunlukla uygulama yerinde imalat olarak geçen şantiye imalatıdır.



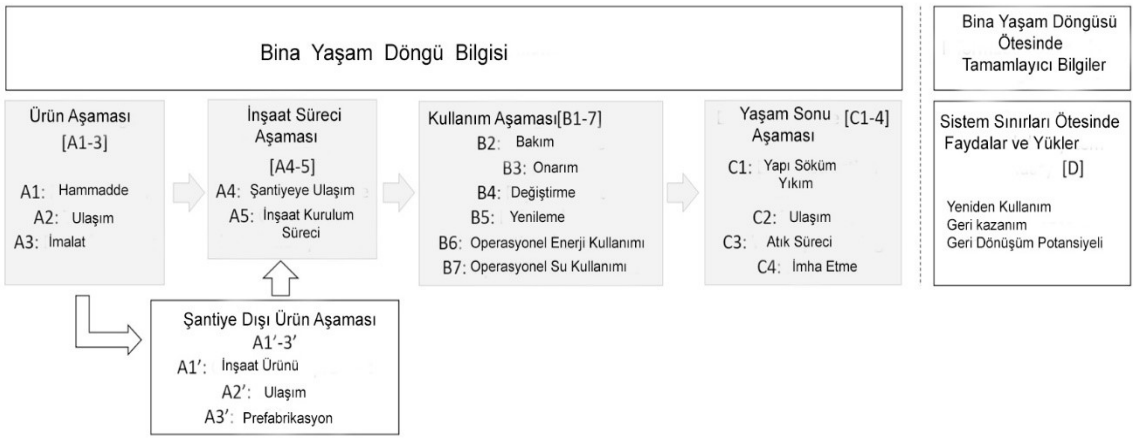
Şekil 3.13. Yerinde İmalat türü İnşaat, (Ad Aren, 2025; Tsikos, 2025).

İkinci tür (Şekil 3.14) ise konveksiyonel olmayan yani prefabrik ve modüler inşaat türüdür (Jiang vd., 2019).



Şekil 3.14. Prefabrik İmalat ve Modüler İmalat Türü İnşaat, (Tsikos, 2025).

Yapı yaşam döngü sisteminde prefabrikasyon ürünler, imalat istasyonlarında doğru üretilip üretilmedikleri genellikle montaj yöntemiyle kontrol edilir. Şekil 3.15'de bina yaşam döngü bilgisi verilen şantiye dışı imalat sistemiyle yapılan inşaat bilgisinin eklenmesiyle bina yaşam döngü bilgisi prefabrik yapılar içinde uygun hale getirilmiş olur. Bu kontrol aşamasından sonra tekrar sökülüp ya şantiye yerine taşınır veya sökülmeyecek büyüklüktekiler -yani küçük parçalar- sökülmeden şantiye alanına ulaştırılıp vinç yardımıyla yerleştirilirler. Böylece, şantiyede çabuk ve hızlı ilerleme sağlanır (Hernández vd., 2023).



Şekil 3.15. Şantiye Dışında İmalatın Yaşam Döngü Aşamaları, (Hernández vd., 2023).

3.6. YEŞİL BİNA VE GÖNÜLLÜ SERTİFİKASYONA GENEL BAKIŞ

Yeşil bina üretme, dünya çapında net sıfır karbon salınım hedefine ulaşmanın bir yoludur. 2050 Dünya hedeflerine ulaşılması için politika yapıcıların daha etkin çalışması gerekmektedir. Sonuç olarak iklim kriziyle dünyaca mücadele edilmektedir. Bunun için yeşil binaları derecelendirme esasları geliştirilmiştir. Bunların ortak özelliklerine bakıldığında şunlar gözükür (Kymäläinen, 2025):

- Ticari olarak karşılığı olan,
- Belirli gereklilikleri veya standartları karşılayan binaları değerlendirmek ve sınıflandırmak için kullanılması,
- Şirketleri ve kuruluşları daha sürdürülebilir olmaya teşvik etme ve özendirme amaçlı,
- Pozitif görünürlük, artan performans, maliyet verimliliği, güven sembolleri oluşturabilme,

- Sertifikalar, daha iddialı hedefler belirleyerek sektörü daha sürdürülebilir olmaya itme gücü kullanma,
- Sertifikalar yaklaşımları ve değerlendirme kapsamları bakımından farklılık yaratma; bu farklılığı ortaya çıkarma hedeflenir.

3.6.1. BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

BREEAM; uluslararası bir sertifikasyon programıdır. Temin, tasarım, inşaat ve işletmeyi performans ölçütlerine göre değerlendirir. Hedefinde; net sıfır karbon, tüm yaşam performansı, sağlık ve sosyal etki, döngüsellik ve dayanıklılık, biyoçeşitlilik, yeni inşaat, kullanım yenileme ve donanım, bilinçli topluluklar, BREEAM altyapısı ve belirli bir yapı kalite markası yaratabilmek vardır. Yaşam döngüsünde B2 veB3 yani bakım ve onarım haricinde bulunan tüm aşamaların değerlendirilmesiyle oluşur. A-B-C-D aşamalarının içerisinde yalnız bu ikisi yoktur. Bu sistem, 100'lük sistem üzerinden kredilendirme özelliğine sahiptir (BREEAM, 2025; Kymäläinen, 2025).

3.6.2. DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen-the German Sustainable Building Council)

Çoğunlukla Almanca konuşulan ülkelerde kullanılır, ancak başka ülkeler içinde uyarlanabilir durumdadır. Üç düşünce merkezi vardır. Bu merkezler, sürdürülebilirlik konusuna dayanmaktadır ve bunlar; ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel kaliteden oluşur. Bu sistemi kullanan ülkeler; yeni binalar, tadilatlar, kullanımdaki binalar ve ayrıca semtler, iç mekanlar, binaların yıkımı, inşaat alanı için bu yönteme başvurur. 2023 de yenilenen bu sistem de BREEAM gibi kendine has kredilendirme sistemine sahiptir. Bu sistem; normal 100 puan + 30 puan ekstra potansiyel üzerinden yapılmaktadır (İkiokko, 2022; Kymäläinen, 2025).

3.6.3. LEED (Leadership in Energy in Environmental Design) Uluslararası

LEED, Avrupa, Amerika ve Kanada ülkelerinde uluslararası olarak kullanılır. Kredilerin verilmesi; karbon, enerji, su, atık, ulaşım, malzeme, sağlık ve iç mekan çevre kalitesine yönelik olarak değerlendirilir. Gümüş (50-59), altın (60-79) ve platinyum (80- +) olarak dereceleri vardır. Yeni inşaatlar, büyük tadilatlar, iç donanımlar, iyileştirme çalışmaları, mahalle gelişimleri, evler, şehirler için uygulanabilir ölçüdedir. Proje tamamlandıktan sonra sadece bir yapı için sertifika verilir. LEED hem CML hem TRACI'ye uygundur ve

ayrıca metrik ve imperial (ingiliz) ölçü sistemine uyum sağlayabilmektedir. A1-4, B3-5, C1-4'u içerir. Yani ürün aşaması artı inşaata ulaşım, kullanım aşamasında onarım, değiştirme, yenileme ve son olarak yaşam sonu aşamasını kapsar. Geri dönüşüm aşamasını değerlendirmeye almaz (Kymäläinen, 2025; Semtrio, 2025).

3.6.4. Green Star Bölgesel

Green Star sistemi bölgesel çalışır. Bu bölgeler Avustralya ve Yeni Zelanda'dır. 1-6 arası yıldızlama sistemi vardır. 0 ile 100 arasında puanlanır. 2025'te yenilenmiştir. Kredileri sorumluluk, sağlık, refah, pozitif enerji, yeri, toplum ve doğa olarak gruplandırılmıştır. Önerilen proje ile gerçek proje aynı boyut, ölçek, hacim ve işleve sahip olmalıdır. "inşaa edildiği gibi" ile eş güdümlü çalışması istenir (Kymäläinen, 2025).

3.6.5. YeS-TR Bölgesel

YeS-TR Sertifikası, Türkiye'ye özgü bir çevre dostu bina belgelendirme sistemidir. Binaların çevresel etkilerini minimize etmeyi ve sürdürülebilirlik ilkelerine uygun yapılar inşa etmeyi teşvik etmek istenmektedir. YeS-TR, ulusal ölçekte geliştirildiği için Türkiye'nin iklim koşullarına, yerel inşaat malzemelerine ve çevre yönetim standartlarına göre ülkemiz için en uygun sertifikasyon modelidir. Bu sertifika, projelerin enerji performans verimliliği, su tasarrufu, doğru atık yönetimi, doğru malzeme seçimi ve iç ortam kalitesi gibi kriterlere göre değerlendirilmesini sağlar. Bu setifikasyon sistemi hem inşaat sektörüne hem de çevresel sürdürülebilirliğe doğrudan etki eder. YeS-TR ile yerel bir çözüm sunarak hem maliyetleri düşürmekte hem de uluslararası arenada rekabet avantajı sağlamaktadır. Ayrıca, ülkemizde çevre dostu projeler için kamu teşviklerinin artmasıyla birlikte, bu sertifikaya sahip projelerin finansman ve yatırım açısından firmalarını öncü hale getireceği öngörülmektedir. Bu nedenle, YeS-TR Sertifikası, sürdürülebilir projelerde fark yaratmak ve sektörde rekabet avantajı elde etmek isteyen inşaat firmaları için vazgeçilmez bir standart haline geleceği umulmaktadır (Ekol Çevre, 2025).

3.7. YAPAY ZEKA İLE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

İşin içine Yapay Zeka girince düşük karbonlu malzemelerin inovasyonuna ve yenilenebilir enerji arzının genişletilmesine katkıda bulunan ve hem arz hem de talepten kaynaklanan yüksek karbonlu enerji kullanımını simültane olarak azaltabileceği Vinuesa

ve arkadaşları tarafından savunulmaktadır. Böylece karbon emisyonlarının azaltılabileceği çalışmalarında rapor edilir. (Vinuesa vd., 2020).

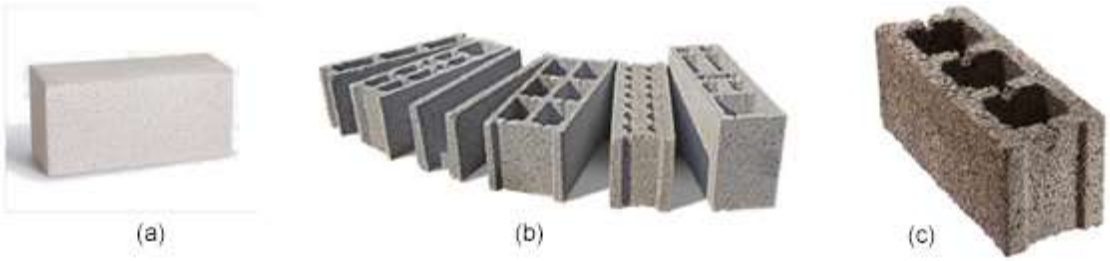
Dünya çapında endüstride oluşan Robotlaşma; birçok ülkede (Çin, Japonya, Amerika Birleşik Devletleri, Güney Kore ve Almanya vb.) etkisini göstermektedir. 1993-2021 arası ile 2010-2021 arası Robotlaşma ve Yapay Zeka kullanımını inceleyen çalışmaları Zhong ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (Zhong vd., 2024). Bu araştırma sonucunda enerjinin değişik boyutlarda evrimleştiği sonucuna varılmıştır. Karbon emisyonuyla ilgili Yapay Zeka kullanan ülkeler enerji tüketim yapılarını hızlı bir şekilde değiştirerek ekonomik büyümelerini endüstriyel gelişme ile desteklemektedirler (Zhong vd., 2024).

4. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada, BIM sürecinin sürdürülebilir inşaat çerçevesinde örneklenmesi hedeflenmiştir. Bunun için yapılan araştırmada en etkili elemanın, küresel ısınma potansiyeliyle etki eden en önemli faktörün dış duvar olduğu görülmüştür. Dış duvarı incelerken mimari programlarda kullanılan duvarın taşıyıcı olan duvar çekirdeği kavramıyla karşılaşılmıştır. Duvar çekirdeği kavramı duvarın taşıyıcı olan ilk yüzeyinin hizalanarak arasına harç koyulan, çeşitli ebatlardaki blokların birleşiminden oluşan yapıdır. Arama motorları, farklı endeks makaleleri ve Chat GPT'den alınan destekle Türkiye'de en çok kullanılan kompozit dış duvarın çekirdek malzemeleri incelendiğinde sırasıyla; Bims Blok, Kil Tuğla ve Gazbeton Blok olduğu tespit edilmiştir. Materyallerin anlatımında ülkemizden seçilen 3 kompozit duvar seçeneğinin de 3 boyutlu diyagramları verilmiştir. Bu kompozit duvar örnekleri üzerinden Düzce'de yapılacak bir dubleks yapı örneği üzerinde enerji simülasyonu çalışması yapılmıştır.

4.1. MATERYAL

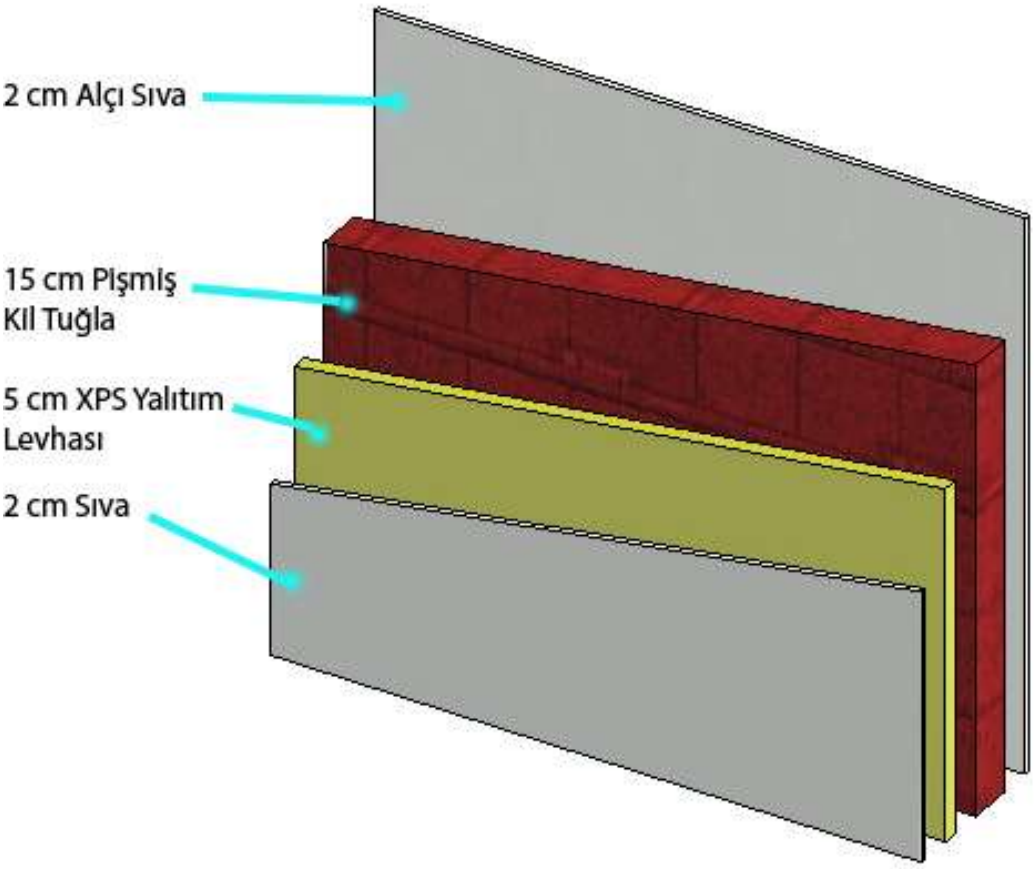
Dış duvar materyalleri seçimini doğru yapabilmek için inşaat terimleri sözlüğüne baş vurulmuştur. İnşaat terimleri sözlüğünün yetmediği yerlerde farklı akademik ve sektörel kaynaklardan destek alınmıştır. Duvar tipleri kıyaslamanın duvar çekirdeğini içermesi için kompozit dış duvar katmanları çekirdek hariç aynı malzeme ve kalınlıkta seçilmiştir. Dış duvar malzemeleri cinslerine göre 3 gruba ayrılırlar: Birinci grup, katı bloklar harman tuğla gibi; ikinci grup, boşluklu bloklar delikli kil tuğla gibi ve üçüncü grup; alternatif malzemelerin birleşimi Gazbeton ve Bims blok gibi malzemelerdir. Bu sıralamaya göre Şekil 4.1'deki bloklar yapının daha az ağırlık yükü taşımalarına sebep olmaktadır (Tsikos, 2025).



Şekil 4.1 Duvar Cinsleri (a)Katı Tuğla (b) Delikli Blok (c) Alternatif Blok, (Tsikos, 2025).

4.1.1. Tuğla ve Tuğla Duvar

Tuğla: Kil veya çamur gibi doğal maddelerin fırınlanarak sertleştirilmiş dayanıklı ve uzun ömürlü hale getirilmiş bir yapı malzemesidir. Eski uygarlıklardan günümüze kadar, yapıları inşa edilmesinde yaygın olarak kullanılmış ve kullanılmaktadır. Yeni malzemelerin bulunmasıyla tuğla duvar işçiliği maliyet olarak fazla kalmaktadır (Kastomonu inşaat, 2024).



Şekil 4.2. 15cm'lık Kil Tuğla Çekirdekli Kompozit Duvar Diyagramı.

Tuğlanın yapılışına bakıldığında; genel olarak seramik malzeme grubundan pişirilmiş bir yapı malzemesi olarak tanımlanır. Tuğla, killi kumlu topraklara su ilavesiyle hamur hale gelir ve sonrasında istenilen ebat ve boşluklara sahip kalıplara dökülerek 800-1000ºC arasında Hoffman fırınlarında 6- 6,5 saat fırınlanan hamur malzeme sonradan hacimleri bölmeye veya oluşturmaya yarayan yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Topçu & Uygunoğlu, 2021). Tuğla pişince hacim kaybeder, bu da derz araları için gerekli boşluğu sağlamaktadır. Güneşte kurutulan ve pişirilen olmak üzere iki cinsi vardır. Pişmiş kil tTuğlanın dayanıklılık değerleri daha yüksektir (Hegger vd., 2012).

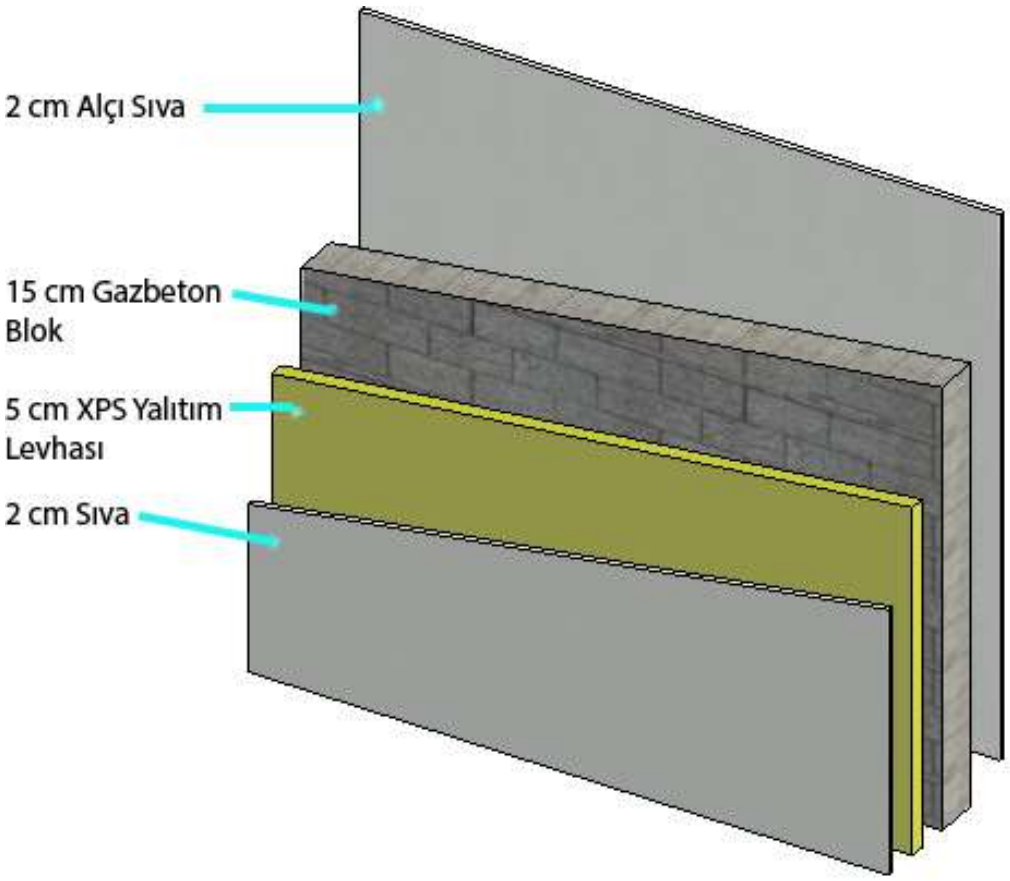
Şekil 4.2'de örnek yapının kompozit dış duvar katmanları dıştan içe doğru verilmiştir. En dışta 2 cm'lik sıva, 5cm XPS yalıtım levhası, 15 cm'lik kil tuğla ve son olarak en içte 2 cm'lik alçı sıva yer almaktadır.

4.1.2. Gazbeton Blok ve Gazbeton Duvar

Gazbeton blok*: "İnce ve silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç veya çimento) ile hazırlanan karışımın, gözenek oluşturucu bir madde katılarak hafifletilmesi yolu ile elde edilen hafif beton blok"* olarak inşaat terimleri sözlüğünde tanımlanır (Akçalı, 2010). Yapısının % 84'ü durgun hava içeren gözenekli yapıdan oluşur (BTG gaz beton yapı, 2024). Isı yalıtımı bakımından gösterdiği performansla çevre dostu bir malzeme olarak bilinmektedir. Ayrıca maliyet olarak aralarında en ekonomik olandır. Boyutları ve hafifliği bakımından diğer malzemeler arasında en az işçilik maliyeti yaratan duvar malzemesidir (Kastomonu inşaat, 2024).

Gazbeton blok yapımında; Sodyum silikat (Kuvarz)%70, kalsiyum (Kireç)%20, su%10 ve eser miktarda alüminyum tozu karışımından homojen halde istenilen şekil ve boyutlara göre kalıplara dökülmesi yoluyla elde edilir. Bu işlem sonrası karışım bir süre kalıplarda bekletilir. Alüminyum tozu su ile tepkimeye girerek kabarcıklar oluşturur. Bu kabarcıklar malzemenin hacmini artırır ve hafif bir yapı malzemesi olmasına imkan verir. Üretilen bloklar sertleşmesi için bir süre nemli ortamda bekletilir. Pişirme işlemi yüksek basınçta 8-12 bar arasında ve 180 -200ºC sıcaklıkta yapılır. Pişirme işlemi sonucunda kalıptan çıkan Gazbeton bloklara ayrılır ve tamamen kuru bir ortamda saklanır (Ytong, 2025). Gazbeton blokların en büyük dezavantajı, su emme kapasitesinin fazla olması ve üzerindeki sıvayı çatlatabilmesidir. Ayrıca düşük basınç ve eğilme mukavemeti yüzünden kırılgan bir malzemedir. Minimum büzülmenin sağlanmasıyla çatlakların önüne geçmek imalat aşamasında mümkün olmaktadır (Kompozit pazarı, 2022).

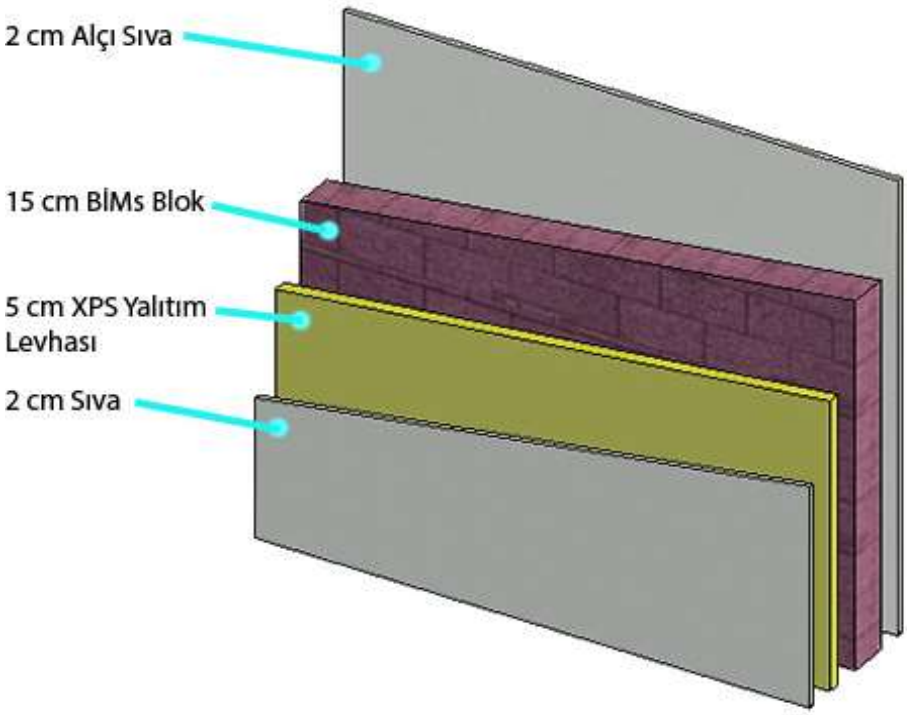
Şekil 4.3'te örnek yapının kompozit dış duvar katmanları diyagramı dıştan içe doğru verilmiştir. En dışta 2 cm'lik sıva, 5cm XPS yalıtım levhası, 15 cm'lik Gazbeton blok ve son olarak en içte 2 cm'lik alçı sıva yer almaktadır.



Şekil 4.3. 15cm'lık Gazbeton Blok Çekirdekli Kompozit Duvar Diyagramı.

4.1.3. Bims Blok ve Bims Blok Duvar

Bims blok; volkanik aktiviteler sırasında oluşan pomza taşından üretilen bir dış duvar malzemesidir. Yapı özelliği bakımından süngerimsi, gözenekli, boşluklu olması nedeniyle hafif bir malzemedir. Ülkemizde yaygın bulunabilmesi yüzünden Bims bloklar son yıllarda birçok yapıda tercih edilen yapı malzemesi haline gelmiştir (Teknobims, 2022). Bunun bir nedeni ise; içerisine konulabilen kimyasal katkı malzemeleri ile dayanıklılık ve yalıtım (su ve ısı) özelliklerinin artırılabilmesidir. Hazırlanan karışım homojen hale getirilir ve metal veya plastik kalıplar içinde şekil verilir. Bazen kalıptan çıkarılıp sertleşmesi için belirli bir süre dış hava koşullarında bekletilir veya yüksek ısı ve basınç ortamında pişirme işlemi gerçekleştirilir. Isı, ses ve yoğunluklarına ve çıkarıldıkları bölgelere göre adlandırılırlar (Global ABC, 2025).



Şekil 4.4. 15cm'lık Bims Blok Çekirdekli Kompozit Duvar Diyagramı.

Şekil 4.4'de örnek yapının kompozit dış duvar katmanları dıştan içe doğru verilmiştir. En dışta 2 cm'lik sıva, 5cm XPS yalıtım levhası, 15 cm'lik Bims blok ve son olarak en içte 2 cm'lik alçı sıva yer almaktadır.

4.1.4. Yapı Malzemesi Olarak Karşılaştırma

Kastomonu İnşaat'ın (2024) internet yazısında Gazbeton blok; ısı ve ses yalıtımı ve inşaat süresinin üretilebilme hızı açısından projeleri hayata geçirmekte daha başarılı bulunmuştur. Avan ve arkadaşlarının (2021) yazdığı makalede verimlilik açısından en iyi malzemenin Bims blok olduğu belirtilmiştir. Buna sebep olarak; küçük ebatlarda üretilebilmesi ve bu ebatlarla daha iyi bir ısı ve su yalıtımını sağlayabilmesini vermişlerdir (Avan vd., 2021).

Bu çalışmanın amacı yukarıda belirtilen üç farklı malzemeden oluşan üç farklı kompozit dış duvarın incelenmesini, karşılaştırılmasını ve en iyi performanslısının tercih edilme sebeplerini içermektedir. Bunun için de çeşitli metotlara başvurulmuştur. Bu metotlara başvurulmadan önce yapılan araştırmada "Green BIM" kavramı yani "Yeşil BIM" kavramı ile karşılaşılmıştır. O yüzden, araştırmayı bu yönde tamamlamak ön görülmüştür. İlerleyen bölümlerde dış duvar elemanı incelenirken duvar çekirdeği

malzemesinde yapılan değişikliklerin Green BIM'e yaptığı etki incelenmesi amaçlanarak yola çıkılmıştır.

4.2. METOT

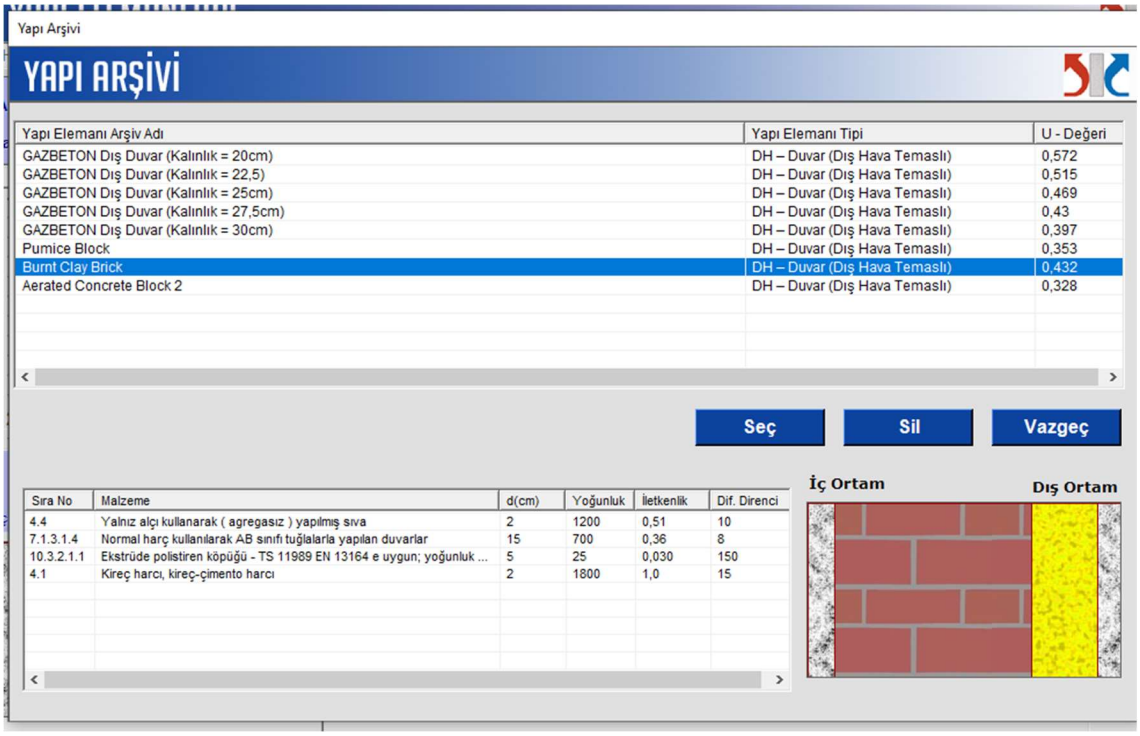
Seçilen kompozit dış duvar malzemelerinin karşılaştırılabilmesi, üç duvar çekirdeği malzemesi özelliklerinin karşılaştırılmasından geçmektedir. Bunun için simülasyonun yapılması planlanan yazılım programlarının sunduğu veri bankasındaki bilgiler temin edilmiştir. Sürdürülebilirlik açısından inceleyebilmek için ilk olarak örnek villa modellemesi için projeye yazılımlarda olan internet sitelerinden direkt veya yönlendirmeli bilgi çektiği malzeme bilgileri kullanılmıştır.

İlk olarak Graphisoft firmasının ürettiği Archicad mimari yazılım programıyla model oluşturulmuştur. Bu program, Avrupa standartlarına göre sürdürülebilir malzeme tanımlarını kullanımı üzerine tanımlanmıştır. Duvar çekirdeği malzemeleri www.oekobaudat.de sitesinde *ÖKOBAUDAT Platform* adlı internet platformundan verileri çekmektedir (*ÖKOBAUDAT Platform*, 2023). Bu internet platformu incelendiğinde Türkiye'de bulunan malzeme tanımlarının hepsinin olmadığı ve Türkiye açısından değerlendirmede eksik kaldığı gözükmektedir. Türkiye'de bulunan malzeme çeşitleri kadar fazla bir malzeme Almanlar tarafından bu platformda tanımlanmamıştır. Bu internet sitesindeki bilgilerle yapılan modellemede Türk standartlarının altında bir performans gözlemlendiği için Archicad programının direkt verdiği veriler yerine internet ortamından bulunan EPD Türkiye sitesinden alınan verilerinin girilmesi daha uygun bulunmuştur.

Çalışmaya ilk başlarken Alman sitesinin verileri kullanıldığı için yoğunluk kıstasıyla Türkiye'de bulunan Gazbeton derneğinin hazırladığı basit enerji hesap yöntemi amaçlı yazılımıyla yani *TGUB.exe* ile dış duvar enerji performansları değerlendirmeye başvurulmuştur (*TGUB.exe*, 2024). Bu yazılımla ilgili bilgilerin EK 1'in birinci bölümünde verilmiştir. ARCHICAD yazılımında doğru veriler elde edebilmek için ÖKOBAUDAT.de adlı platformdaki bulunan değerler alınıp TGUB.exe programında değerlendirilmiştir.

Bu yönden bakıldığında ortak duvar çekirdeği malzemesinin simülasyon için seçilmesi işleminde yoğunluğu baz alarak yeni çevresel etki veri girdilerine ulaşılmıştır. Bunun nedeni ise; Türkiye'de çalışma yapıldığı için Türk standartlarında yer alan bir malzeme seçimine gidilmiş olmasıdır. Bununla ilgili bilgiler EK 1'in birinci bölümünde verilmiştir.

Belirlenen kompozit duvar seçeneklerinin verileri TGUB.exe'den alınmıştır. Burada; duvar çekirdeği için yapı malzemelerinin yoğunluk ve U-değerleri (ısı iletkenlik katsayısı) bulunmaktadır. Türk Standardı Avrupa Normu 771.1'e (TS EN 771.1) göre, Pişmiş Kil Tuğla-Archicad yazılımında Kil tuğlanın özellikleri 700 kg/m^3 ve 0,36 W/(m^2.K) şekilinde tanımlanmaktadır. Türk Standardı Avrupa Normu 998-2'ye (TS EN 998-2) göre Gazbeton blok özellikleri 400 kg/m^3 ve 0,13 W/(m^2.K), Türk Standardı Avrupa Normu 771.1'e (TS EN 771.1) göre ise Bims blok özellikleri 450 kg/m^3 ve 0,18 W/(m^2.K)'dir. Bu değerler yukarıda tanımlanan kompozit duvarlar için geçerlidir



Şekil 4.5. TGUB.exe Programının Tüm Farklı Çekirdekli Kompozit Duvar İçin Değerleri.

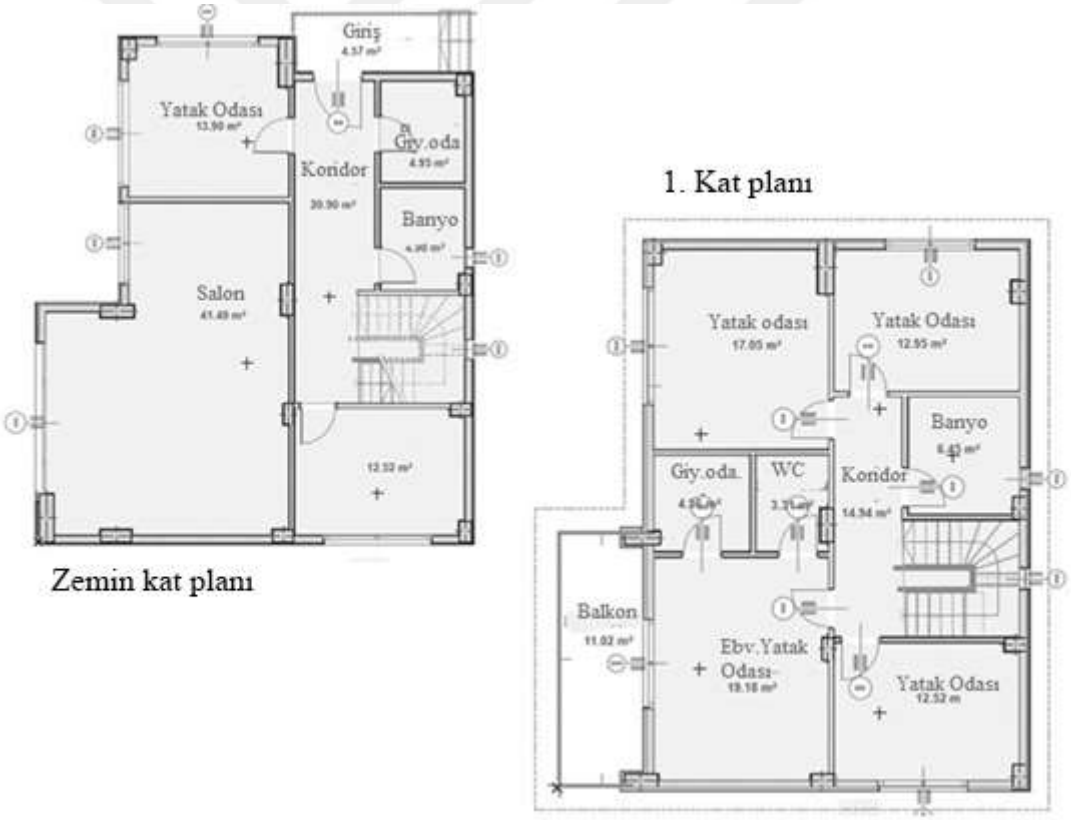
Şekil 4.5'te Topluca U değerleri verilmiştir. Bunlar; Kil tuğlalı kompozit duvar için U değeri 0,432; Gazbeton bloklu kompozit duvar için U değeri 0,328; Bims bloklu kompozit duvar için U değeri 0,353 W/m^{2}K olduğu görülmektedir. Şekilde pişmiş kil tuğladan yapılan kompozit duvar örneği modellenmiştir. Tüm kompozit duvar seçeneklerinin değerleri EK 1'de mevcuttur.

TGUB.exe'ye göre malzemeler seçildikten sonra internet üzerinden EPD araştırmasına gidilmiştir. Seçilen her duvar çekirdeği malzemesi için birkaç EPD'ye ulaşılmıştır. Bunlardan Gazbeton ve Bims Blok için Türk firmalarının EPD'sı değerlendirmeye alınmıştır. Gaz beton blok için Ytong firmasının Türk bayisinin EPD'sine web sitesinden

ulaşılmıştır. Aynı şekilde Bims blok için Ponsblok adlı Türk firmasının EPD'sine ulaşılmıştır. Kil Tuğla için Türk Firmasının EPD'sine ulaşılamadığından İspanyol firması Aenor Firmasının EPD'sine başvurulmuştur. Bu EPD'lerin Archicad programı için çevresel etkilerinin girişini yapılan veriler EK 1'in ikinci bölümünde verilmiştir.

En son olarak REVIT yazılımıyla sağlaması yapılmak istenmiş fakat çevresel etki sistemi kıyaslanmasında Kuzey Amerika standartlarına göre uygulandığı görülmüştür; yani TRACI yöntemiyle çevresel etkilerinin hesaplanmakta olduğu gözlemlenmiştir.

Buraya kadar olan bölümde üç farklı kompozit dış duvar incelenmiştir. Bunlar duvar çekirdeği ana malzemesinin değişmesinden farklı dış duvarlar elde edilmiştir. Bundan sonraki araştırmalar örnek vaka üzerinde yapılmıştır. Bu örnek vaka; Düzce ilinin şehir merkezine 4 km mesafesinde olan Kuyumcuhacıali mahallesinde bulunan dubleks basit bir betonarme villa yapı örneğidir. Bu villa; iki katlı olup, 5 yatak odası bir salon ve 3 banyo içermektedir. Yapıya ait kat planları Şekil 4.6'te verilmiştir.



Şekil 4.6 Örnek Villanın Zemin ve 1. Kat Planları.

Villa toplam alanı yaklaşık 215 m^2'dır ve bina ömrü olarak 70 yıl seçilmiştir. Villanın planlarından da anlaşıldığı gibi yapıya ait pencerelerin boyutları çok büyüktür. Bu çalışmanın kapsamı dışında kalan açıklıkların enerji değerlendirme performansına

yapacağı etki, göz ardı edilmiştir. Bu göz ardı edilen konu, standart cam malzeme seçilmesi veya pencerelerin komforcam seçilmesi gibi örneklendirilebilir. İkisi arasında çok fazla fark bulunmaktadır. Araştırmayı etkilememesi açısından tüm camlar standart cam kabul edilmiştir. Yapı hem Archicad'de hem de Revit programlarında standart cam uygulaması ile modellenmiştir.

Pencere boyutlarının gözle değerlendirilebilmesi için yapının giriş cephesinden perspektifi Şekil 4.7'te verilmiştir.



Şekil 4.7. Örnek Villanın Giriş Cephesi İzometrik Perspektifi.

Örnek villa modeline bu üç farklı duvar tipi ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu yapıda kullanılan dış duvar kalınlıkları yukarıda materyaller kısmında verilmiştir Örnek villanın tüm modellerinde iç duvarlar sabit kalması amacıyla Kil tuğla 10'luk duvar ile örüldüğü kabulü yapılmıştır ve modeller bu şekilde geliştirilmiştir.

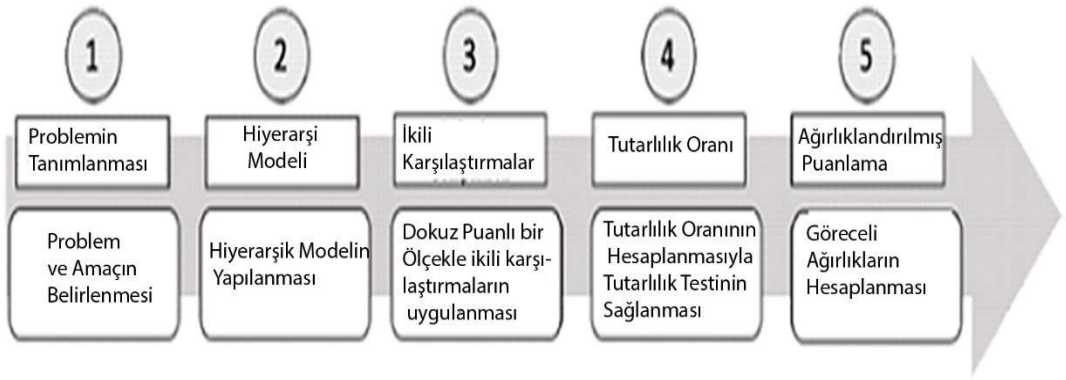
Archicad yazılımının Enerji performans ölçme parametresi CML sistemine dayanarak veri girdisi yapılmaktadır. Revit yazılımının Tally eklentisinin çevresel etki ölçme parametresi ise TRACI sistemine bağlı olarak nihai hesapları yapmaktadır ve çevresel etki verileri girdisi yapılamamakatdır. Bu iki programın aynı sistemleri kullanmamaları yüzünden Düzce ilinde saha araştırmasına gidilmiştir.

4.3. AHP YÖNTEMİ VE ANKET ÇALIŞMASININ ENTEGRASYONU

Farklı yazılımlarla yapılan modelleme çalışmaları ayrı ayrı çevresel etki sistemlerine bağlı olduğu için kıyaslamada ikilem yaratmıştır. Bu ikilemin çözülmesi saha

çalışmasında analitik hiyerarşi prosesi yöntemi (AHP) yönteminin uygulanması öngörülmüştür. AHP uygulaması için anket oluşturulmuştur. Bu anket çalışması EK -6'da verilmiştir. Örnek yapı Düzce'de olduğu için Düzce ilindeki uzmanlara anketin ulaştırılması yoluna gidilmiştir.

AHP yöntemi Saaty tarafından geliştirilmiştir (Saaty, 1980). Anket uygulamasıyla AHP'nın nasıl uygulanmakta olduğunun mantığı aşağıda anlatılmış ve AHP mantığının adımları Şekil 4.8 verilmiştir.



Şekil 4.8. AHP işleyiş şeması, (Saaty,1980).

Bu şemaya göre; AHP anket çalışmasının aşamaları belirlenmiştir. Aşağıda ise yazılı olarak; AHP yöntemiyle anketin oluşturulma ve uzman görüşü alındıktan sonraki değerlendirme aşamaları bütünleşik olarak verilmiştir. Bu yöntemle uzman görüşlerinin değerlendirilmesi takibinin kolaylaştırılması amacıyla uygulanmıştır (Önder & Önder, 2018).

Birinci aşama olan problem tanımı "BIM ve LCA'ya göre en iyi dış duvar seçimini elde etmek" veya "Green BIM'e göre en iyi dış duvar türünün belirlenmesi" olarak belirlenmiştir.

İkinci aşama, Hiyerarşik olarak yapılandırmanın oluşturulabilmesi için elektronik dergi veri tabanından bulunan makaleler incelenmiştir. Bu problem tanımı yapıldıktan sonra Green BIM içeren bir toplu bakış açısının bulunduğu fark edilmiştir.

AHP'nın amaç sorusu Green BIM içeren "LCA ve BIM'e göre en iyi dış duvar malzemesinin seçilmesi" olarak belirlenmiştir. BIM hakkında yapılan makale taraması sonucunda 14 ana kriter belirlenmiştir ve hiyerarşi model yapısı oluşturulmuştur (Bak. Çizelge 4.1). Bu 14 kriter seçilirken makalelerin birbirinden özgün konularda olması üzerinde durulmuştur.

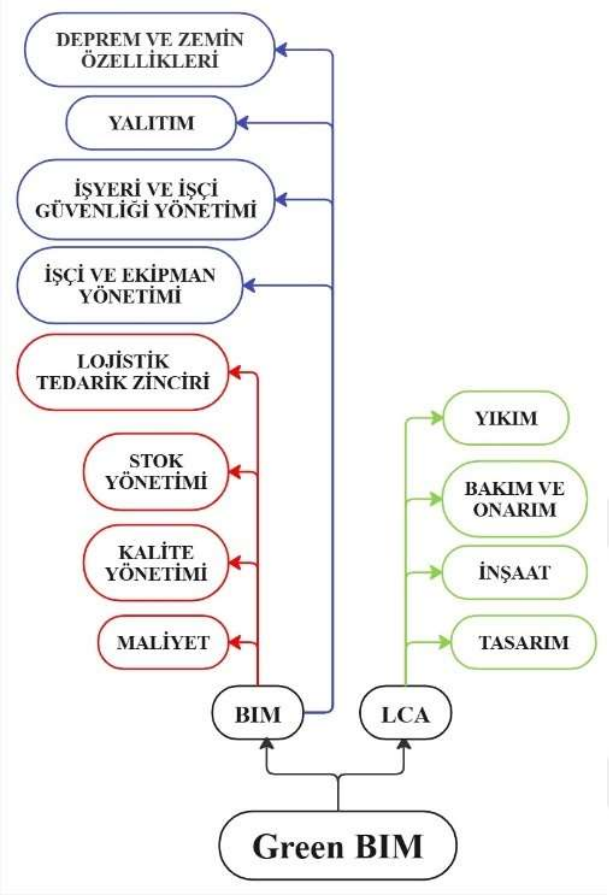
AHP'nın temel mantığı, bu kriterlerin birbirine göre önceliklerinin belirlenmesidir. Şekil 4.9'taki Green BIM kavramının (Work Breakdown Structure) iş kırılım yapısı verilmiştir. İş kırılım yapısı, bir işin kilometre taşlarına ayırmak olarak da tanımlanmaktadır. Proje yönetimi alanında fazlaca kullanılan bir yöntemdir. İş kırılım yapısının genel amacı, organizasyonel verimliliği artırmayı, işbirlikçiler arası iletişimi kolaylaştırmayı ve proje yönetimini sadeleştirmeyi hedefler.

Çizelge 4.1. AHP Kriterleri ve Seçim Kaynakları

Hedef seçim kriterleri	**R**eferans
1) Tasarım	Alwan ve Ilhan Jones, 2022; Di Santo vd., 2023
2) İnşaat	Junussova vd., 2023; Unda vd., 2020
3) Bakım ve Onarım	Gao & Pishdad-Bozorgi, 2019; McArthur, 2015
4) Yıkım	Rana ve ark., 2019; Su ve ark., 2021
5) Maliyet	Dodoo vd., 2019; Kehily ve Underwood, 2017; Le vd., 2020; Zanni vd., 2019
6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	Y.-J. Chen ve diğerleri, 2020
7) Kalite Yönetimi	L. Chen & Luo, 2014; Demirkesen & Ozorhon, 2017; Kim vd., 2016
8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	Deng vd., 2019; Magill vd., 2020
9) Stok Yönetimi	Zhineng, 2018
10) BIM Uygulaması	Abdelaal vd., 2023; Röck vd., 2018; Zheng vd., 2023
11) LCA Uygulaması	Carvalho vd., 2020; Guignone vd., 2023; Mashayekhi ve Heravi, 2020; Röck vd., 2018; Soust-Verdaguer vd., 2017
12) İzolasyon	Cao vd., 2024
13) İşyeri ve işçi Güvenliği Yönetimi	Y.-J. Chen vd., 2020; Hossain vd., 2018
14) Deprem ve Zemin özellikleri	Han vd., 2020; Zhen vd., 2020

İş kırılım yapısına ilk karşılaşıldığı yer, ABD Savunma Bakanlığı tarafından 1962'de yayımlanan "Program Evaluation and Review Technique (PERT)"'de projelerin planlanması ve yönetilmesi için bir yaklaşım geliştirilmiştir (PMI, 2017). Aşağıdaki şekilde Green BIM kavramı iki dala ayrılır. Birincisi BIM; ikincisi LCA'dır. BIM kavramı kendi içinde ikiye ayrılır. Birincil önem taşıyan dal konuları; maliyet, kalite yönetimi, lojistik ve tedarik zinciri yönetimi ve son olarak stok yönetimi bulunmuştur. İkinci önem taşıyan dal konuları ise; direkt etkisi bulunmayan yan daldır. Bunlar; işçi ve ekipman yönetimi, işyeri ve işçi güvenliği, yalıtım ve son olarak deprem ve zemin

özellikleridir. LCA dalında ise dört konu vardır. Bunlar sırasyla; tasarım, inşaat, bakım ve onarım, ve yıkımdır.



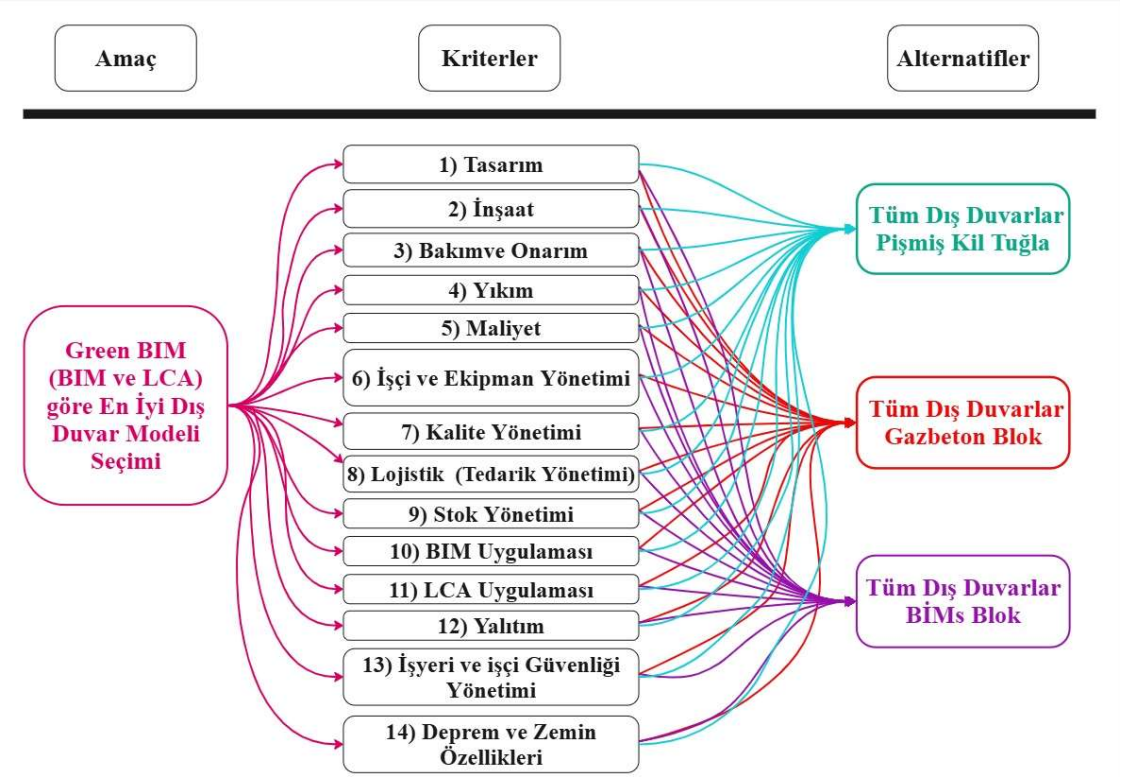
Şekil 4.9. Green BIM İş Kırım Yapısı Diyagramı

Üçüncü aşamada, AHP'nın esas mantığı olan ikili karşılaştırmaların bir ve dokuz puan arasında her iki tarafa da uzanan bir puanlama sistemi kullanılmaktadır (Robin & Yahya, 2023). Bu araştırmada kullanılan 1'den 9'a olan ölçeklendirmeye yer verilir. İkili kıyaslamalarda terazi gibidir. Kıyaslanan taraflardan hangisi ağır geliyorsa, o tarafa doğru ağırlık derecesi kadar ortadan baskın tarafa yönelen rakam işaretlenir. Ortada bulunan 1 rakamının anlamı kıyaslanan kriterlerin eşit önemli olduklarını belirler.

Dördüncü aşamada alınan uzman görüşlerinin tutarlılık oranı belirlenmesi istenir. Yapılan hesapların doğru olması için tutarlılık oranının tutarın %10'undan küçük olması arzulanmaktadır. Bu çalışmada tutarlılık oranı % 3 çıkmıştır.

Beşinci aşamada uzman görüşlerinin sonucu göreceli ağırlıklandırmanın hesaplanmasıyla matris yeniden oluşturulur (Robin & Yahya, 2023). Bu matris normalize edilmiş halde gelir ve bu değerlere göre öncelik sıraları belirlenir.

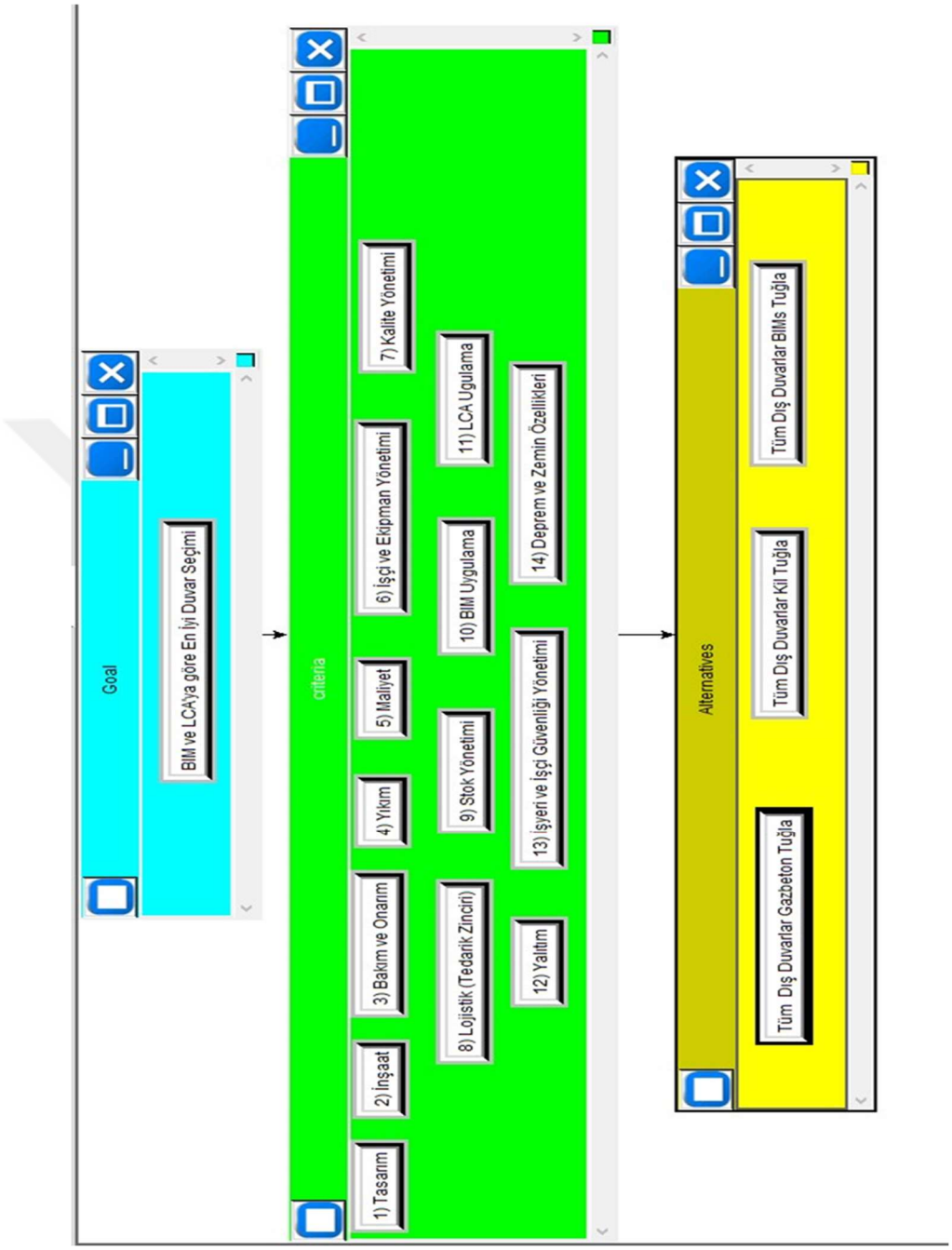
Bu kriterlerin SuperDecisions programı ile incelenmesi sonucunda nihai sonuca erişildiği kabul edilmiştir (*SuperDecisions*, 2023). SuperDecisions programı açık erişimli bir kaynak programdır. Bu program yukarıda belirtilen kriterlere göre alternatif olarak sunulan tüm dış duvarların çekirdek hariç, diğer tüm malzemelerin aynı malzemeden yapılmasını içermektedir. Bu malzemeler materyaller bölümünde anlatılan kompozit duvar malzemeleri olan alternatif duvar cinslerinden oluşur. Bunlar Pişmiş kil tuğla, Gazbeton blok ve Bims blok çekirdekli duvar yapılarıdır. Bu duvar yapıları ısı yalıtımı olarak kullanılan XPS levhayla desteklenmişlerdir.



Şekil 4.10. SuperDecisions Programı Değerlendirme Aşamaları.

SuperDecisions programının değerlendirme sonuçları 5. Bölüm olan Bulgular bölümünde ele alınmıştır. Burada sadece AHP yöntem olarak yer almaktadır. Bu çalışma için geliştirilen AHP yönteminin mantığı Şekil 4.10'da verilmiştir. Anket sonuçlarının ortalaması alınarak SuperDecisions'nın kriterler bakımından 91 adet kıyaslamalı anket verileri girilmiştir. Bu 91 adet soru 14x14'lük bir kare matrisin üst yarı üçgeni oluşturulmuştur. Bu üçgen köşegen matrisin 1'den oluşması nedeniyle matristen çıkartılmıştır. SuperDecisions'ın yaptığı üst üçgenin değerinin (1/değer) alınmasıyla alt üçgende oluşturulması sağlanır. (Saaty, 1980).

SuperDecisions programının arayüzü Şekil 4.11'te yer almaktadır ve hatta; bulgular bölümünde hesaplanmış olan AHP kriterlerinin değerlendirilmesi ve Excel'de sağlaması EK -6 bölümünün sonunda verilmektedir. Sağlamaya göre değerler doğru çıkmaktadır.



Şekil 4.11. SuperDecision Programının Green BIM Üzerine Yapılan Araştırma Şemasının Arayüzü

5. BULGULAR

Burada, materyaller bölümünde tanımlanmış olan üç farklı duvar katmanı açısından örnek villadaki malzeme ihtiyacı çıkarılmak istenmiştir. Bu yüzden, alternatif kompozit malzemesi olan duvar elemanı katmanlı kompozit malzeme olarak ele alınmıştır.

5.1. ALTERNATİF KOMPOZİT DIŞ DUVAR ELEMANIN İNCELENMESİ

Archicad yazılımında fiziksel özellikleri tanımlanırken Pişmiş kil tuğla olarak çevrilmiştir. O yüzden; Kil tuğla, pişmiş kil tuğla olarak da bazı yerlerde adlandırılmıştır. Çizelge 5.1'de duvar çekirdeği cinslerine göre malzeme ihtiyaç planı oluşturulmuştur. Bunu yaparken Revit programının eklentisi olan Tally programından faydalanılmıştır. Çizelge 5.1'de belirtildiği gibi duvar tipleri 7 katmandan oluşmaktadır. Çizelgedeki gri alanlar farklı kompozit duvarlarla örülen projenin değişen değerleri belirtmektedir. Çalışmada sadece duvar çekirdeği malzemesi değiştirildiği için sadece çekirdekle ilgili kısımlar farklı ele alınmıştır.

Çizelge 5.1. Alternatif Kompozit Dış Duvar Materyal İhtiyaç Miktarının Bulunması.

				Dış Mekan							İç Mekan
	Duvar Çekirdeği Özellikleri			Kat-man 1	Kat-man 2	Kat-man 3	Kat-man 4	Katman 5a	Katman 5b	Katman 6	Kat-man 7
	Boyutlar	Duvar Çekirdek Hacmi	Duvar Çekirdek Yoğunluğu	Boya Sentetik	Sıva, Portland çimentosu	XPS İzolasyon	Su Yalıtımı, Buhar kesici	Duvar Çekirdek Malzemesi	Duvar Çekirdeği Harç N	Alçı, Duvar Panosu	Boya, Akrilik Lateks
Kil Tuğla	20 x 20 cm	30,77 m³	700 kg/m³	37 kg	19117.4 kg	288,9 kg	59.5 kg	21535,9 kg	6022,3 kg	12334,8 kg	95.2 kg
Gaz Beton Blok	60 x 25 cm	30,77 m³	400 kg/m³	37 kg	19117.4 kg	288,9 kg	59.5 kg	12306,2 kg	2770,3 kg	12334,8 kg	95.2 kg
Bims Blok	20 x 40 cm	30,77 m³	450 kg/m³	37 kg	19117.4 kg	288,9 kg	59.5 kg	13844,5 kg	5191,7 kg	12334,8 kg	95.2 kg

Malzeme tanımı kg olarak yapıldığından Tally eklenti programının hesapları kullanılmıştır. Bu yazılımın duvar çekirdeği malzemesi bakımından verdiği sonuçlar

mantık çerçevesi içindedir. Duvar bloklarının boyutları artıkça duvar harcı miktarı küçüldüğü gözlenmiştir. Bu küçülme harç miktarı konusunda olup duvar çekirdeği ağırlığından bağımsız geliştiği de tespit edilmiştir.

Tally eklenti programıyla yetinilmemiş; örnek villanın metraj bilgisi olarak Archicad ve Revit Yazılımlarıyla da doğruluk kontrolu yapılmıştır.

Çizelge 5.2. Archicad Yazılımıylala Bulunan Metraj Bilgisi

Duvar Çekirdeği Metrajı

Çalışılan Kat Adı	Eleman ID'si	Duvar Tipi	Yüksek-lik [m]	Duvar Dış Yüzü Yüzey Alanı (Koşullu) [m2]	Duvar Kalınlık [m]	Duvar çekir-dek Kalın-lığı [m]	Net Hacim [m3]	Kılavuz Çizginin Uzunluğu [m]	Pencere Boşluğu Olmadan Düz Duvar Hacmi
Zemin Kat	DVR - 004	Sıva, Yalıtım, 15cm Blok, Alçı	3,300	24,59	0.24	0.15	3.69	8,50	4.21
Zemin Kat	DVR - 006	Sıva, Yalıtım, 15cm Blok, Alçı	3,300	9,51	0.24	0.15	1.43	7,32	3.62
Zemin Kat	DVR - 007	Sıva, Yalıtım, 15cm Blok, Alçı	3,300	6,66	0.24	0.15	1.00	2,02	1.00
Zemin Kat	DVR - 008	Sıva, Yalıtım, 15cm Blok, Alçı	3,300	8,45	0.24	0.15	1.27	5,75	2.85
Zemin Kat	DVR - 010	Sıva, Yalıtım, 15cm Blok, Alçı	3,300	27,63	0.24	0.15	4.14	10,50	5.20
Zemin Kat	DVR - 014	Sıva, Yalıtım, 15cm Blok, Alçı	3,300	37,85	0.24	0.15	5.68	11,35	5.62
1. Kat	DVR - 004	Sıva, Yalıtım, 15cm Blok, Alçı	3,000	20,92	0.24	0.15	3.14	8,50	3.83
1. Kat	DVR - 008	Sıva, Yalıtım, 15cm Blok, Alçı	3,000	22,62	0.24	0.15	3.39	12,21	5.49
1. Kat	DVR - 010	Sıva, Yalıtım, 15cm Blok, Alçı	3,000	20,86	0.24	0.15	3.13	8,50	3.83
1. Kat	DVR - 013	Sıva, Yalıtım, 15cm Blok, Alçı	3,000	36,93	0.24	0.15	5.54	12,21	5.49
TOPLAM							**32.40**		**41.13**

Archicad yazılımıyla bulunan metraj bilgisinde pencere ve kapı boşlukları dış duvarda olmasa kaç metreküp çıkacağı merak edilmiş ve hesaplanmıştır. Çizelge 5.2'te bu metreküp 41,13 m^3 olarak bulunmuştur. Ayrıca hesaplanan kullanılacak olan duvar hacmi Archicad yazılımıyla 32,40 m^3 bulunmuştur. Bu değer Tally ile bulunan değerle karşılaştırıldığında büyük çıkmaktadır. Bunun nedeni ise, Archicad'de dış duvar hacmini ele almak için kullanılan duvar dış yüzeyi alanı komutu en dış katmanı yani boyanın olduğu katmanın yüzey alanını almasıdır. Bilindiği üzere duvar çekirdeği (ısı yalıtım malzemesi ve dış sıva kadar yani) 7 cm daha içerdedir. Bu yüzden Tally ile yapılan hesap daha doğru kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3'te duvar çekirdeği metrajı hacmi 31,702 m^3 olarak bulunmuştur. Bu yazılımlar - yani Tally ve Revit ve Archicad programları- arasında bulunan en fazla değer aralığı yaklaşık 1,5 m^3'u aşmamaktadır. Yüzdelik dilimde bu oran % 5'den biraz daha az olmaktadır. Bu oran hesaplarımızda hata payı içinde kaldığı kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3. Revit Yazılımıyla Bulunan Metraj Bilgisi

<Duvar Çekirdeği Metraji>

A	B	C	D	E	F	G
Base Constraint	Family and Type	Material: Name	Material: Area	Area	Width	Brick volume
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		5.96 m²	6.60 m²	24.00 cm	0.893269
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		7.33 m²	7.65 m²	24.00 cm	1.099256
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		7.73 m²	7.73 m²	24.00 cm	1.15875
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		11.46 m²	11.79 m²	24.00 cm	1.718281
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		12.18 m²	12.81 m²	24.00 cm	1.827644
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		25.77 m²	26.97 m²	24.00 cm	3.865631
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		35.02 m²	36.11 m²	24.00 cm	5.252606
Zemin Kat: 7			105.44 m²			15.815437
Kat 1	Basic Wall: Exterior Brick, Common		9.32 m²	9.32 m²	24.00 cm	1.397487
Kat 1	Basic Wall: Exterior Brick, Common		12.28 m²	12.84 m²	24.00 cm	1.841427
Kat 1	Basic Wall: Exterior Brick, Common		20.73 m²	21.31 m²	24.00 cm	3.109777
Kat 1	Basic Wall: Exterior Brick, Common		26.78 m²	26.91 m²	24.00 cm	4.017328
Kat 1	Basic Wall: Exterior Brick, Common		36.81 m²	37.75 m²	24.00 cm	5.521017
Kat 1: 5			105.91 m²			15.887036
			211.35 m²			31.702474

5.2. REVIT YAZILIMI İLE BULUNAN FİZİKSEL VE ÇEVRESEL ETKİLER

Yukarıda Revit yazılımının Tally eklentisi ile malzeme katmanlarına göre malzeme ihtiyacı kg olarak bulunmuştur. Sonrasında, alternatif kompozit duvar malzemelerinin değişen kısmı duvar çekirdek malzemelerini incelemesi yoluna gidilmektedir. Analizlere Revit yazılımı üzerinden devam edilmiştir.

Çizelge 5.4'de Revit yazılımında yukarıda incelediğimiz üç malzemenin oluşturduğu duvar çekirdeğinin özellikleri verilmektedir. Bu çizelgeye göre; termal iletkenlik ve

özgül ısı bakımından incelendiğinde en iyi sonucu Gazbeton blok vermektedir. EK 1'de TGBU:exe programıyla Revit yazılımının termal iletkenlik değerlerinin aynı olduğu gözükmektedir çünkü değerler yapının benzer sonuç vermesi için veri girişinde yoğunluk ve termal iletkenlik özellikleri elle girilmiş, programın verdiği varsayılan değerler kullanılmamıştır. Lakin; dış sıva, ısı yalıtım malzemesi ve iç alçı sıva hakkındaki değerlere müdahale edilmemiş varsayılan değerlerle ilerlenmiştir.

Çizelge 5.4. Revit Yazılımında Dış Duvar Çekirdek Malzemelerinin Fiziksel Özelliklerinin Değerleri

	Dış Duvar Çekirdek Malzemeleri			
	Kil Tuğla	Gaz Beton Blok	Bims Blok	Birimler
Termal iletkenlik	0,36	0,13	0,18	W/(m.K).
Özgül ısı	0,84	1,35	1,00	J/(g.^{0}C)
Yoğunluk	700	400	450	Kg/(m^3)
Emisivite	0,95	0,95	0,95	(0-1)
Porozite	0,01	0,01	0,70	(0-1)

Çizelge 5.5'te Revit programının tüm dış duvar tiplerinin U-değerleri yani ısı iletkenlik değerlerinin özellikleri verilmiştir. Revit, bunu yapı elemanı bazında yapmaktadır. TGBU.exe programı geliştirildiği hali de Revit gibi duvar bazında işlem yapmaktadır. Revit değerlerini etkileyen duvar çekirdek katmanı haricindeki katmanlarda programın verdiği değerlerde değişikliğe gidilmemiş ve TGBU.exe'ye göre uyarlanmamışlardır. Bu yüzden biraz U değerlerinde değişiklik olmuştur. Bu değerler Kil tuğla için 0,5244; Gazbeton blok için 0,3470 ve Bims blok için 0,4304 W/(m^2.K) değerlerini taşır. Yani sıralama değişmese de U değerlerinde program farklılığı az bir fark yaratmıştır. Archicad yazılımıyla bu karşılaştırma yapılamamaktadır. Çünkü yapı elemanı bazında U değeri hesaplamayıp; toplam örnek villa için ortalama bir U değeri bulmaktadır. Örnek villa U değerleri bulunurken döşeme, duvar, çatı ve hatta temel özelliklerini de ele almaktadır.

REVIT programı kullanıldığında elde edilen enerji değerlendirme sonucuna göre; ısı iletkenlik katsayısı (U) değeri ve termal direnç (R) değerine göre sıraya koyulduğunda ilk Gazbeton blok için U değeri bazında 0,347, ikinci Bims blok olarak 0,430 ve üçüncü Kil tuğla olarak 0,524 değerlerine ulaşılmıştır.

Çizelge 5.5. Revit Programında Dış Duvar Çekirdeği Özelliklerinin Termal Değerleri.

	Dış Duvar Tipi			
Duvar çekirdeği malzemesi	Kil Tuğla	Gaz Beton Blok	Bims Blok	Birimler
Isı iletkenlik Katsayısı (U)	0,5244	0,3470	0,4304	$W/(m^2.K)$
Termal Direnç (R)	1,9068	2,8821	2,3234	$(m^2.K)/W$

Örnek villa modeli bazında bakıldığında Revit yazılımının Tally eklentisi ile elde edilen veriler Çizelge 5.6'tadır. Tally aslında Archicad uzantısı EcoDesigner Star porgramı gibi döşeme, duvar, çatı ve temel'e ait özelliklerin tümünü ele alan bir yapısı vardır. EcoDesigner Star programından Tally programını ayıran fark, proje içindeki tanımlanan yapı elemanlarını tek tek ele alabilme şansı vermektedir. Bu yüzden Tally ile Archicad'in EcoDesigner Star programından daha net ve nokta atışı yapabilecek sonuçlara ulaşılmaktadır. Fakat bu eklenti ülkemiz açısından iki kötü tarafı vardır. İlki; ülkemizde CML sistemi EPD'lerde kabul edilmektedir. Tally ise TRACI'yı kullanmakta ve bizim sistemimize uyum sağlamamaktadır. İkinci kötü taraf ise; Tally eklentisine malzeme tanımlamada sadece malzeme yoğunluğu tanımlanmaktadır. Bulunan veya başka proje için seçilen yeşil malzemenin EPD veri girdisi projeye işlenememektedir. Tally programıyla tüm binanın duvarlarının LCA'sını (yani A'dan D'ye kadar olan bütün LCA aşamaları) verdiğinden elimine edip Archicad'e karşılaştırılabilmek için sadece A1-A3 arası değerlendirmeye alınmıştır. Tüm LCA aşamalarına ait değerler -yani A-D aşamalarından elde edilebilinecek değerler- EK 5'de verilmiştir.

Çizelge 5.6'ta tüm dış duvarların (tüm katmanlarıyla birlikte incelendiği durum) toplam çevresel etkilerinin kg'ları hesaplanmıştır. Tabii bu değerler TRACI'ye göre hesaplanmıştır. Tez kapsamında CML sistemiyle karşılaştırabilecek duruma bu değerleri eliminize edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.6. REVIT Programının Eklentisi TALLY ile Dış Duvar Çekirdeği Çevresel Etki Özellikleri

	Dış Duvar Tipi (A1-A3)			
Duvar çekirdeği malzemesi	Kil Tuğla	Gaz Beton Blok	Bims Blok	Birimler
Küresel Isınma	33005.584	30400.571	30700.456	kg CO_2 eq.
Ozon Tabakasının İncelmesi	0.012	0.012	0.012	kg CFC-11 eq
Asitleşme	27.977	19.347	23.960	kg SO_2 eq.
Ötrofikasyon	3.992	3.471	3.761	kg N eq
Duman Oluşumu	480.658	361.582	413.668	kg O_3 eq
Yenilenebilir Enerji	10841.216	10196.282	8401.664	MJ
Yenilenemez Enerji	221120.205	119594.268	184912.890	MJ
Birincil Enerji	232005.622	129712.696	193343.373	MJ

5.3. ARCHICAD YAZILIMI'DA KULLANILAN ÇEVRESEL ÖZELLİKLER

Daha aşağıdaki Çizelge 5.10'te Archicad yazılımında yapılan modellemede kullanılan duvar çekirdeği malzemelerinin çevresel özellikleri verilmiştir. Bu değerler internet ortamında bulunan (ikisi Türk, biri İspanyollara ait) EPD'lerden alınmıştır. EPD'ler CML sistemi uygulanarak hesaplanmıştır. EPD'lerden bu verilerin nasıl bulunduğu dördüncü bölümde anlatılmıştır. Ayrıca; malzeme değerlerinin hesaplaması EK 1'in ikinci bölümünde verilmiştir.

Çizelge 5.7.Kil Tuğla İçin 1m^3 Başına Girilen Çevresel Etki Kritelerleri.

Archicad Programına Girilen Çevresel Etki Değerleri	**Malzeme Değerleri**	**Birimi**
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	229.744	kg CO2-eşd.
Ozon Tüketim Potansiyeli (ODP)	0.000	kg CFC-11-eşd.
Asitleşme Potansiyeli (AP)	0.688	kg SO2-eşd.
Ötrifikasyon Potansiyeli (EP)	0.076	kg PO4-eşd.
Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (POCP)	0.067	kg C2H4-eşd. (etilen-eşd.)

Fosil olmayan kaynaklar içinAbiyotik Tükenme Potansiyeli / (ADPE)	0.000	kg Sb-eşd.
Fosil kaynaklar içinAbiyotik Tükenme Potansiyeli / (ADPF)	3042.308	MJ

Çizelge 5.7'de 1 m³ duvar çekirdeği malzemesi olan Kil tuğla için Archicad yazılımına girilmesi gereken değerler bulunmaktadır. Burada bazı değerler sıfır gözükmektedir. Bunun sebebi Archicad yazılımına virgülden sonra 11 basamak girilmesine imkân vermemesidir. Fakat bu değerler küçükte olsa çevreye bir zarar verdiği gözükmektedir.

Çizelge 5.8. Gazbeton Blok İçin 1m^3 Başına Girilen Çevresel Etki Kritelerleri

Archicad Programına Girilen Çevresel Etki Değerleri	**Malzeme Değerleri**	**Birimi**
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	167.960	kg CO2-eşd.
Ozon Tüketim Potansiyeli (ODP)	0.000	kg CFC-11-eşd.
Asitleşme Potansiyeli (AP)	0.487	kg SO2-eşd.
Ötrifikasyon Potansiyeli (EP)	0.092	kg PO4-eşd.
Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (POCP)	0.036	kg C2H4-eşd. (etilen-eşd.)
Fosil olmayan kaynaklar içinAbiyotik Tükenme Potansiyeli / (ADPE)	0.000	kg Sb-eşd.
Fosil kaynaklar içinAbiyotik Tükenme Potansiyeli / (ADPF)	939.196	MJ

Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9'daki veriler EPD'lerine göre yoğunluklarının TGUB.exe'de verilen Türk standartlarına göre uyarlanmış türleridir. Bu çevresel etkilerin vereceği sonuçlar ülkemiz açısından daha doğru olacağına inanılmıştır. Daha önce de belirttildiği gibi; Arcicad'ın varsaydığı değerlerin kullanımı Türkiye malzemelerine uzak kaldığı için değerlendirmeden çıkarılmıştır.

Çizelge 5.9. Bims Blok İçin 1m^3 Başına Girilen Çevresel Etki Kritelerleri

Archicad Programına Girilen Çevresel Etki Değerleri	**Malzeme Değerleri**	**Birimi**
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	112.772	kg CO2-eşd.
Ozon Tüketim Potansiyeli (ODP)	0.000	kg CFC-11-eşd.
Asitleşme Potansiyeli (AP)	0.317	kg SO2-eşd.
Ötrifikasyon Potansiyeli (EP)	0.056	kg PO4-eşd.

Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (POCP)	0.022	kg C2H4-eşd. (etilen-eşd.)
Fosil olmayan kaynaklar içinAbiyotik Tükenme Potansiyeli / (ADPE)	0.000	kg Sb-eşd.
Fosil kaynaklar içinAbiyotik Tükenme Potansiyeli / (ADPF)	270.192	MJ

Malzeme seçimi konusunda Çizelge 5.10; küresel ısınma potansiyeli değerleri açısından duvar çekirdeği tipleri incelendiğinde sıralama Gazbeton blok, Bims blok ve Kil tuğla olarak gelmektedir. Kompozit duvarları ele alırken diğer katmanları aynı aldığımızdan bu durum, bu duvar çekirdeğiyle üretilen duvar türleri içinde geçerlidir. Yapılan araştırmanın devamında Archicad programında bina dış duvarları gibi katmanlı kompozit bir yapı elemanının ısı iletkenlik katsayısı (U)değerini vermek yerine Archicad yazılımının eklenti programı EcoDesigner Star programıyla çevresel özelliklere örnek modelin tamamı için ortalama bir değer vermektedir. Bu örnek yapının ısı iletkenlik katsayısı (U)değeridir.

Çizelge 5.10. ArchiCAD Programında Dış Duvar Çekirdeği
Çevresel Etki Karşılaştırması

	Dış Duvar Çekirdeği Tipi			
Archicad Programına Girilen Çevresel Etki Değerleri	**Kil Tuğla**	**Gazbeton Blok**	**Bims Blok**	**Birimi**
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	229.744	167.960	112.772	kg CO2-eşd.
Ozon Tüketim Potansiyeli (ODP)	0.000	0.000	0.000	kg CFC-11-eşd.
Asitleşme Potansiyeli (AP)	0.688	0.487	0.317	kg SO2-eşd.
Ötrifikasyon Potansiyeli (EP)	0.076	0.092	0.056	kg PO4-eşd.
Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli (POCP)	0.067	0.036	0.022	kg C2H4-eşd. (etilen-eşd.)
Fosil olmayan kaynaklar içinAbiyotik Tükenme Potansiyeli / (ADPE)	0.000	0.000	0.000	kg Sb-eşd.
Fosil kaynaklar içinAbiyotik Tükenme Potansiyeli / (ADPF)	3042.308	939.196	270.192	or MJ

Çizelge 5.11'te bina kabuğu ortalaması olarak duvar ve çatı yapı elemanının ısı iletkenlik katsayısı (U)değerini değerlerini EcoDesigner Star programıyla elde

edilmiştir Karbon ayak izi bakımından değerlendirme alındığında Bims blok, Gazbeton blok, ve Kil tuğla yer almaktadır.

Çizelge 5.11. EcoDesgner Star programıyla U değeri ve Karbon Ayakizi Bina Kabuğu Özellikleri

	Bina Kabuğu Ortalaması			
Duvar çekirdeği malzemesi	Kil Tuğla	Gaz Beton Blok	Bims Blok	Birimler
Isı iletkenlik Katsayısı (U)	1,11	1,05	1,08	$W/(m^2.K)$
CO_2 Emisyonu	17,09	16,60	16,72	Kg/m^2

EcoDesigner Star ve Tally eklenti programlarına çevresel etki veri girişleri adım adım EK 2'de verilmiştir. EcoDesigner Star ve Tally eklenti programlarının hesaplamaları sıarsıyla EK 4 ve EK 5'te ayrıca verilmektedir.

Çizelge 5.12'de Archicad'te girilen EPD'lerden uyarlanmış CML sistemiyle hesaplanmış çevresel etki kriterleri 1 m^3 başına düşen özelliklerinin karşılaştırılabilmesi için Tally'de bulunan duvar tiplerine ait TRACI yöntemiyle bulunan çevresel etki kriterlerinin toplam değeri CML sistemiyle karşılaştırılabilmesi için 1 m^3 başına düşen miktarı kg cinsinden hesaplama yoluyla karşılaştırmada çalışma için daha anlamlı bir takım veriler elde edilmiştir. Bu işlemler EK 6 detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 5.12 incelendiğinde karşılaştırma için 1 ve 3 numaralı kriter olan küresel ısınma potansiyeli ve toprak ve suyun asidifikasyon potansiyeli en uygun verilerdir, çünkü kriterlerin birimleri aynıdır. Archicad'e girilen değerler Tally'den elde edilen değerlerden biraz fazla olmakla birlikte dizilim sıralamasında bir farklılık yoktur. Toprak ve suyun asidifikasyon potansiyeli karşılaştırmasında Archicad verileri Tally'den bulunan verilere göre 2 misline yakın büyük çıkmıştır. Çevresel etkilerin en az olduğu genel dış duvar çekirdeği sıralaması Gazbeton blok, Bims blok ve en son Kil tuğla'dır.

2a ve 2b'ye incelendiğinde sıralamada Archicad'te ve Revit'te farklılık gözlemlenmektedir. Archicad'e girilen veriler deneylere dayandığından Archicad'te girilen veriler dikkate alınması daha makul görülmüştür. En az doğal malzeme olan

Kil tuğla'da ozon tabakasının incelmesi potansiyeli bulunmuştur. Sonrasında Bims blok ve Gazbeton blok gelmektedir. Revit'te bu sıralama Bims blok, Gazbeton ve en son Kil tuğla olarak bulunmuştur.

4a ve 4b'nin birbirindenden farkı, isimleri aynı olsa da ölçtükleri birimler birbirlerinden farklıdır. 4a Ötrofikasyon potansiyelini kg $(PO_4)^3$-eşd. cinsinden ölçmektedir. Duvar çekirdeği sıralamasında değişiklik olmakta çevreye en az zarar veren Bims blok, Kil tuğla ve son olarak Gazbeton blok görülmektedir. 4b ötrofikasyon potansiyelini kg (N)-eşd. cinsinden ölçmektedir. Bu yüzden değerlerin farklı çıkması çok normaldir. Burada ise sıralama, 4a'dan farklıdır. Temiz su kirliliği açısından en az zarar veren Bims blok, Gazbeton blok ve son olarak Kil tuğla sonucuna ulaşılmaktadır.

5a ve 5b adları da, havanın kalitesini ölçtükleri birimler de farklıdır. 5a, troposferik fotokimyasal oksidasyon oluşturma potansiyeli olup kg eten-eşd. Şeklinde ölçümü yapılmaktadır. Sıralaması; Bims blok, Gazbeton blok ve en son Kil tuğladır. Aynı sıralama 5b için de geçerlidir. Yalnız; 5b duman oluşumu potansiyeli olup kg O_3-eşd. Cinsinden ölçümü yapılmaktadır.

6,7 ve 8 kaynak kullanımıyla ilgili birbirlerine yakın kavramlar olup harcanan enerji tüketimini ölçmeye hizmet etmektedir. Burada sıralamada değişiklikler olmaktadır. Bunlardan en önemli görülen yenilenebilir kaynak kullanımıdır. Bunda da klasik sıralama mevcuttur.

Çizelge 5.12. Dış Duvar Çekirdek Malzemesi CML'ye Adapte Edilerek Bulunan Karşılaştırması

Archicad'e Girilen EPD'den Uyarlanmış 1 m^3 İçin geçerli olan Değerleri

No:	Ortak Karşılaştırma Çevresel Etki Kriterleri	Kil Tuğla	Gazbeton Blok	Bims Blok
1	Küresel Isınma Potansiyeli (kg CO_2-eşd.)	229.744	167.960	112.772
2a* **	Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (kg CFC-11-eşd.)	0.13E-06	6.12E-06	5.40E-06
3	Toprak ve Suyun Asidifikasyon Potansiyeli (kg SO_2-eşd.)	0.688	0.487	0.317
4a*	Ötrofikasyon Potansiyeli (kg $(PO_4)^3$-eşd.)	0.076	0.092	0.056
5a**	Troposferik Fotokimyasal Oksidasyon Oluşturma Potansiyeli (kg eten-eşd.)	0.067	0.036	0.022
6a*	Fosil Olmayan Kaynakların Tüketimi Potansiyeli (kg Sb-eşd.)	204E-05	7.42E-05	2.91E-05
7a* **	Fosil Kaynakların Tüketimi Potansiyeli (MJ)	3042.308	939.196	270.192
8a* **	Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi Potansiyeli (MJ)	15247.436	1349.347	717.308

Revit'in Tally Eklenti Toplam Sonuçlarının 1 m^3'e İndirgenmiş Değerleri

No:	Ortak Karşılaştırma Çevresel Etki Kriterleri	Kil Tuğla	Gazbeton Blok	Bims Blok
1	Küresel Isınma Potansiyeli (kg CO_2-eşd.)	202.293	173.194	130.046
2b* **	Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (kg CFC-11-eşd.)	4.75E-11	3.84E-11	3.06E-11
3	Toprak ve Suyun Asidifikasyon Potansiyeli (kg SO_2-eşd.)	0.352	0.208	0.226
4b*	Ötrofikasyon Potansiyeli (kg (N)-eşd.)	0.018	0.014	0.012
5b**	Duman Oluşumu Potansiyeli (kg O_3-eşd.)	5.845	4.000	3.757
6b*	Yenilenebilir Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	3261.895	1091.965	2096.933
7b* **	Yenilenemeyen Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	215.593	229.993	138.596
8b* **	Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi (MJ)	3478.888	1319.958	2236.428

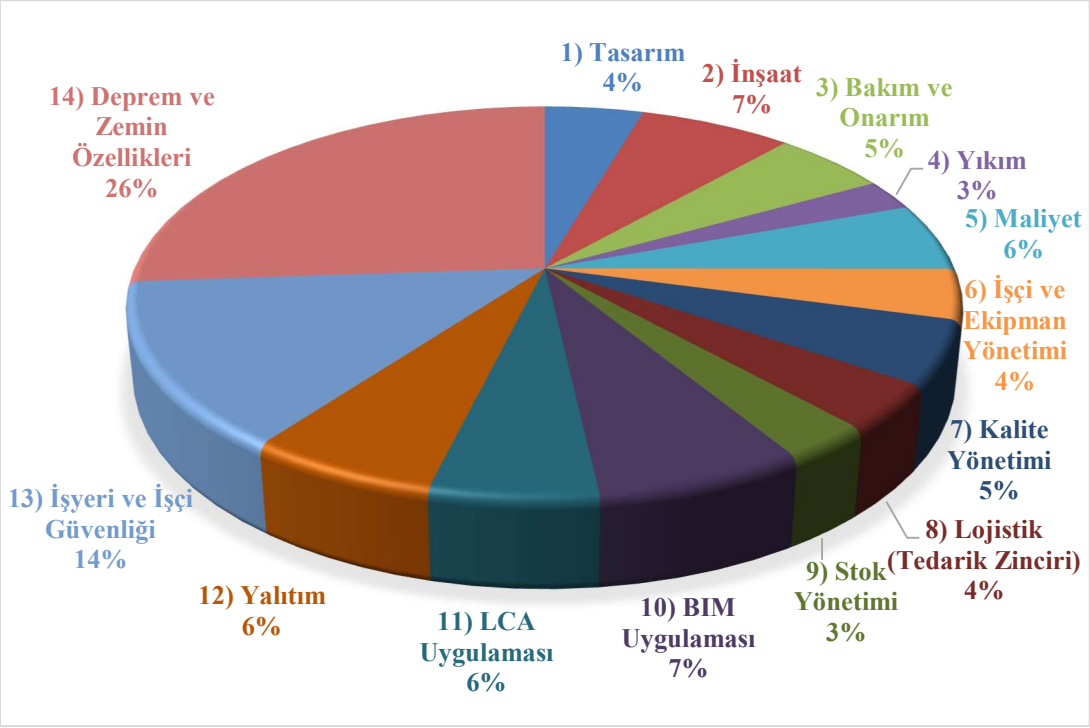
* Kıyaslama birimleri farklı olanlar

** Kıyaslama Kriterleri farklı olup aynı amaca hizmet edenler

*** Rakamlar arasında fark var, a ve b türleri kendi içlerinde sıralaması aynı olanlar

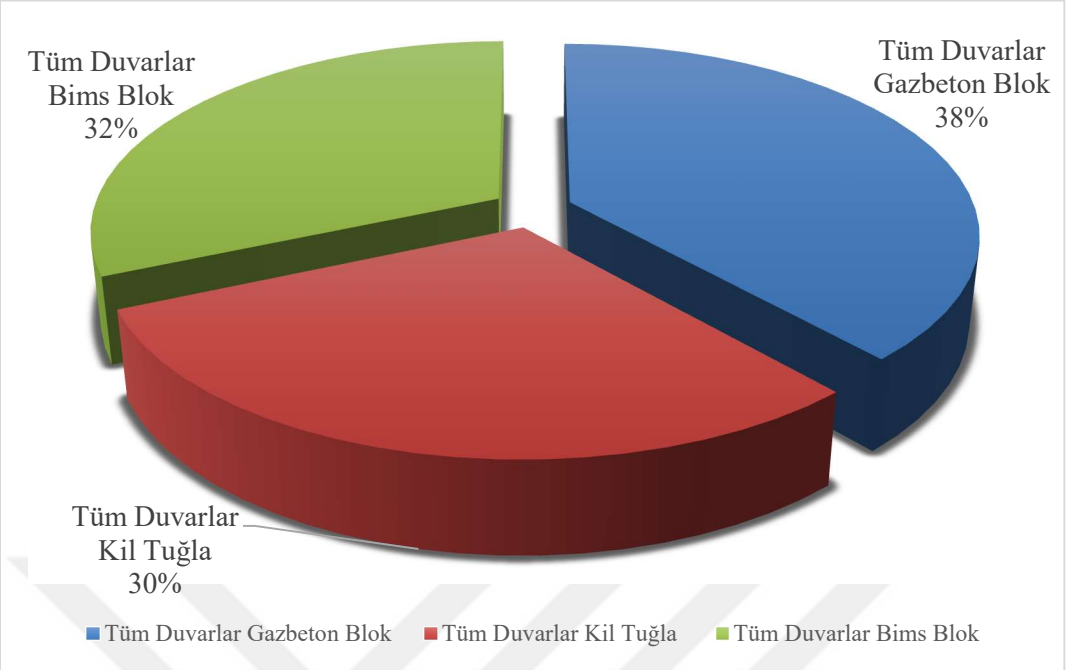
5.4. AHP YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

Simülasyon çalışmaları ile aynı çevresel etki değerlerine ulaşılamadığı için hatta çevresel etkileri araştırırken farklı sistemleri kullanmaları yüzünden aynı kriterlere ulaşılamadığı için AHP yöntemine göre uygulanan bir saha çalışaması ile araştırmayı sonlandırma ihtiyacı duyulmuştur. Anket uygulaması için uzman görüşüne başvurulan kişiler, "katılımcılar" olarak adlandırılmıştır ve bu katılımcılar Düzce ilinden seçilmiştir. Bunun nedeni ise; inşaat uzmanlarının örnek villanın olduğu il hakkında daha fazla bilgi sahibi oldukları kabulüdür. Araştırmaya 22 katılımcı katılmıştır. Katılımcıların 5'i akademisyen, 7'si mimar, 10'u inşaat mühendisinden oluşmaktadır. Kriterlerin seçimi metot bölümünde verilmiştir. Kriterlerin incelenme detayları ise EK 6'da gösterilmiştir. AHP yöntemini kullanmak için SuperDecisions programı kullanılmıştır (*SuperDecisions*, 2023). Makalelerden anahtar kelime olarak ortak payda olarak bulunan 14 kriterle AHP sistemi düzenlenmiştir. AHP yönetimine göre kriterler ağırlıklandırılmış ve normalize edilmiştir. Sonuç Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Kriterlerin Lokal Ağırlıklarının Yüzde Cinsinden Verilmesi

Green BIM kavramının temeli olan BIM ve LCA'ya göre en iyi duvar malzemeleri alternatifleri arasında en iyi kompozit duvar oluşturan duvar çekirdeği seçimi, uzman görüşlerini bildiren katılımcılara göre belirlenmiştir.



Şekil 5.2 BIM ve LCA'ya göre Duvar Çekirdeği Malzemesinin Belirlenmesi

AHP uygulamasının sonucu ise Şekil 5.2'de gösterilen pasta dilimi yöntemiyle en iyi kompozit duvar elemanının duvar çekirdek malzemesinin seçilmesinde öncelik sırası Gazbeton blok (%38), Bims blok (%32)ve son olarak Kil tuğla (%30) bulunmuştur.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında ilk olarak, binalara veya yapılara ait BIM'lerinin dijital halinin çıkarılmasından oluşan bilginin kullanılmasının aracılığıyla ulaşabilecek bilgi kümesinin doğru işlenmesinin doğuracağı faydaları bulmaktır. Bir yapının bilgilerinin hangi konularda veri bilgi madenciliğine gidileceği BIM tarafından da sürekli sorgulanan bir durumdur. O yüzden çeşitli BIM boyutları vardır. BIM boyutları zaman içinde evren gibi genişlemeye devam etmektedir. Bu tez çalışmanın başında BIM boyutları 7. temel boyuta kadar kapsamaktaydı, şimdi ise 10. boyuta kadar çıkmıştır.

Standart olan 3'den 7'ye kadar olan boyutlar şunlardır: üç boyutlu görsel, zaman planlaması, maliyet tahmini, sürdürülebilirlik, tesis yönetimidir. Artık bunlara ek olarak; Güvenlik yönetimi, Yalın inşaat, Endüstriyel inşaat katılmıştır. Böylece tüm inşaat türlerine yani şantiye ve şantiye dışı imalat türlerine hitap eder bir duruma gelmiştir. 10. boyut'a kadar yerinde imalat ve prefabrikasyon ürünleri olarak adlandırılan tüm inşaat türünün girmesi BIM'ın şantiye alanı programlamasının ötesine geçerek sınırlarını aşmasına sebep olmuştur. Tezin gelişiminden de anlaşıldığı gibi, BIM gelişmekte olup gelişmeye devam edecek bir kavramdır. Geriye dönük ilerlediğinde, GIS sistemleriyle karşılaşırken; ileriye doğru ilerlediğinde, Akıllı binalardan oluşan akıllı şehirlere doğru atılım yapmaktadır.

Bilgi, son 20 yıldan önce en önemli verilerinden biri olarak kayda geçmişti. Bilgi Toplumu olunmaktan bahsedilmekteydi. Bunun için bilgi kirliliği içinden doğru bilgi ayıklamanın önemi vurgulanmaktaydı. Şu anda çok bilginin önemi kalmadı, yapay zekayla bilginin doğru bir şekilde elimize edilmesini sağlar oldu. Yapay Zeka, kendine has bir veri madenciliği geliştirmiştir/ geliştirecektir. Veri madenciliği, doğal afetlerde kullanılabilinmesi için GIS yönelik önemli bir kaynaktır. Veri toplamak ve bu verileri doğru yorumlamak ve doğru kullanım alanın belirlenmesi burada önem taşır. Zamanımızda yapay zekayla birleştirerek, daha doğru bir kentselleşmeye yönelmek çağımızın en büyük ihtiyaçlarından biri haline geleceği literatür araştırmasında ortaya çıkan bir başka veridir. Kentsel dönüşüm açısından da BIM kullanımının doğru yönetilmesi aslında elzem konudur.

BIM boyutları içerisinde olan sürdürülebilir inşaat açısından incelendiğinde konu, yalın inşaata kadar dayanmaktadır. Yalın inşaat için ise BIM detay seviyelerinin (LOD) seviyeleri önem taşımaktadır. BIM, ne kadar LOD seviyesi yüksekse_yani (inşaa edildiği gibi) "As built" yakınsa- dijitalinin oluşturulması o kadar birebire yakın olduğu bir süreci içinde barındırır. Yalın inşaat, minimum hata ve malzeme ve atık ile inşaatı gerçekleştirmeyi sağlamayı amaçlar. Yani, Yalın inşaat, tüm binanın yaşam döngü değerlendirmesinin yapılmasına BIM'ın kullanılması olanak verir.
Tez çalışması kapsamında BIM uygulayabilmek için çeşitli mimari yazılımlara ve çevresel etki ve enerji performansı hesaplayan programlara yönelinilmiştir.

6.1. YAZILIM PROGRAMLARIYLA SİMÜLASYON ÇALIŞMASI SONUCU

Bu çalışmada Düzce'de bulunan örnek bir villa üzerinde yapılmıştır. Araç olarak kullanılan Archicad ve Revit yazılımları sırasıyla enerji performansı hesaplayan EcoDesigner Star ve çevresel etkileri hesaplayan Tally eklentileriyle desteklenen bir araştırma yapılmıştır. Her iki programında kendisine has artı ve eksileri olduğu bulunmuştur. Bunun en önemli sonucu bu eksi ve artıların ileriye dönük olarak değerlendirilmesidir.
İlk olarak Revit ve Tally programının avantajlarını aşağıda verilmiştir:

1. Revit'te 3D modellemeyi daha kolay detaylı model yapılandırılabilmektedir.
2. Daha yaygın olarak kullanıldığı için detay seviyesi yüksek yapı elemanı nesnesi (BIM obje) internetten bulup projeye yerleştirmek daha kolaydır.
3. İnternette eğitim videoları hem Türkçe hem İngilizce çok daha fazla bulunmaktadır.
4. Tally eklentisiyle TRACI sistemine ait tüm yapıya ait çevresel etkiler LCA'ya göre A'dan D'ye kadar olan kısımları hesaplama özelliği taşımaktadır.
5. Revit yazılımı duvar için bir U değeri hesaplayabilmektedir. Bunu TGUB.exe programıyla karşılaştırma fırsatı bulunmuştur.

Revit ve Tally programlarının dezavantajları ise şöyledir:

1. Tally eklentisi sadece duvar seçildiğinde duvar yapımında kullanılan malzeme miktarını kg olarak hesaplıyor. Program genel olarak; GWP değerleri tüm binadan çevreye zararlı salınanın gaz miktarını yapı elemanlarına göre yüzdelik dilimlerle veriliyor. Çevresel etki türlerine göre miktarları bulmak için bu yüzdelikler

toplam miktar ile çarpmak gerekmektedir veya pdf uzantısı yerine cvs uzantılı dosyayı excel programında filtrelerle işleyerek gerek duyulan veriler süzülebilmektedir.

2. LCA Değerlendirmesini uluslararası versiyonu Kuzey Amerika'ya göre oluşturulmuş olan TRACI sistemini kullanarak yapmaktadır. Bu yüzden Ülkemizde CML kullanıldığı için değerler bir önem taşımamaktadır. Ayrıca EPD'sı olan bir ürünü projeye işlemek için çevresel etki kriterlerinin veri girdisi olarak yapılmasına Tally izin vermemektedir.
3. Tally eklentisi elindeki çevresel etki verileri LCA'nın A'dan D'ye kadar oluşturabilmektedir ve bu hesaplamaların dayandığı EPD'lere bile ulaşılamamakta ve sadece LCA'nın A1 - A3 arası hesaplandığı gibi veri girişi için değişiklik yapmaya izin vermemektedir.

Archicad ve EcoDesigner Star programları ile yapılan incelemede varılan avantajlar:

1. BIM açısından Tally'ye göre en dış duvar yüzey alanını duvar çekirdeği kalınlığıyla çarparak metrajı çıkarılabildi. Dış duvar yüzey hesaplama diye bir komutun olması boya hesabının belirlenmesi için önemli bir etkendir ve bunu Archicad programının içinde yapmaktadır. Eklentiye ihtiyaç duymadan kendi içinde çözümlemektedir.
2. Türkçe versiyonu bulunmaktadır. Ülkelere göre çözüm sunmakta öncü durumdadır. Ayrıca EPD verlerinin CML sisteminde girişlerine imkan vermektedir.
3. Revit gibi, kendi objelerini yapmana olanak tanır. Ortak internet sitelerinde obje (yapı elemanı) çözümü her iki program içinde üretildiği gibi, bazı kullanıcıların sahip oldukları programa göre internet objesi ürettikleri de bilinmektedir. Bunlar kullanıcı çözümleridir ve bunlara internet nesnesi olarak ulaşmak mevcuttur.
4. 3D görünümde geri kalsa da BIM yazılımı olarak daha etkili açılımlarla hızlı çözüm sunmaktadır, mesela metraj örnek verilebilir (yapı elemanı ve yapı malzemesi olarak parçalamaktadır. Bunu Revit'te Tally eklentisi ile yapabilmektedir.)

Archicad ve EcoDesigner Star programları ile yapılan incelemede varılan dezavantajları ise şunlardır:

1. Detay çizimleri için Archicad, Revit'e göre daha fazla içinde kendi BIM objelerini tanımlamak veya yapmak gerektirmektedir. Tanımlı internet nesnesi daha azdır.
2. EcoDesigner Star eklentisi raporu hazırlarken tüm binayı ele alarak LCA analizi gerçekleştirip ortalama vermektedir. GWP potansiyelleri de ortalamaya ait olmaktadır. Toplam miktarı bulmak için metre kare ile çarpmak gerekmektedir ki bu yolla Dış duvar verilerine gene ulaşılamamaktadır. Döşeme, çatı ve temel bilgilerini de içinde barındırmaya devam etmektedir. Tally gibi ayrı bir cvs uzantılı dosya sunmadığı için verileri ayrıca işlemek mümkün olmamaktadır.

Bu koşullar altında Archicad ve Revit programlarında fiziksel özellikler bakımından sıralama Gazbeton blok, Bims blok ve Kil tuğla çıkmıştır. Çevresel özelliklere bakıldığında Revit'te ve Archicad'te karbon ayakizi duvar çekirdeği sıralaması değişmemektedir.

Bu sonuçlar dolayısıyla, yazılımların çevresel etkileri değerlendirilmesinde farklı sistemler (Archicad'te CML ve Revit'te TRACI) kullanılması yüzünden çevresel etki değerlendirmesinde sıralama değişmese de değerler değiştiğinden örnek villa üzerinde tutarlı sonuçlara ulaşılamamıştır. O yüzden; genel bir durum değerlendirmesi için Düzce'de bir AHP yönteminin kullanılarak küçük çaplı uzman görüşüne gidilmiştir.

6.2. AHP YÖNTEMİYLE OLUŞAN UZMAN GÖRÜŞLERİNİN YORUMLANMASI

BIM ve LCA açısından yapının dış kabuğu ve iç bölmeler mahallerin oluşturulmasında yapının proje yönetimi bakımından tasarlanma aşaması önem taşımaktadır. LCA'nın kriterleri bakımından incelendiğinde yapım aşaması olan tasarım, inşaat, bakım ve son aşama onarım ve yıkım kendi içlerinde sıralandığında Green BIM bakımından AHP metodu sonucunda proje yönetiminin Düzce içerisinde eksik kaldığı gözükmektedir. Bu çalışma kapsamı, Türkiye için de genellemeye ulaştırabilir.

Uzman görüşlerinden elde edilen verilerine göre inşaat üçüncü sırada yüzde 7; bakım ve onarım sekizinci sırada yüzde 5,3; tasarım onuncu sırada yüzde 4,5 ve Yıkım on dördüncü sırada yüzde 2,5 paya sahiptir. Çalışmanın verileri değerlendirildiğinde LCA'nın öneminin ülkemiz tarafından daha anlaşılamadığı veya geri kaldığı izlenimine ulaşılabilinir.

Çalışmanın verilerine bakıldığında BIM ve inşaat yüzde 7 ile eşit öncelik taşıdığı görülmüştür. Ayrıca, LCA ile maliyet bakımından incelendiğinde de yüzde 5,6 ile aynı

önem derecesi taşıdığı tespit edilmiştir. İnşaat aşaması ile BIM uygulanması bir gözükmeye başlanmış gibi durmaktadır. LCA ise maliyeti etkileyen bir faktör olarak değerlendirilebilir.

Uzman görüşü bildirenler en önemli etkenlerin yüzde 26,1 ile deprem ve zemin özellikleri sonrasında ise yüzde13,7 işyeri ve işçi güvenliği olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle; BIM boyutlarına sonradan giren (9. Boyut) Güvenlik yönetimi kavramı bu çalışmada önem arz ettiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada değerlendirilmeyen tek kriter deprem ve zemin özellikleri kalmıştır ki en büyük önem taşıyan kriter, AHP analizinde bu kriterdir.

Yapı yönünden örnek villayla incelediğimiz simülasyonlarla desteklenmiş araştırmanın uzman görüşlere başvurma çalışması sonucunda AHP yöntemiyle en iyi dış duvar malzemesi seçiminde tercih sıralaması; birinci Gazbeton blok (% 38), ikinci Bims blok (% 32) ve sonuncu ise Kil tuğlayı (% 30) olmuştur.

6.3. İLERİYE DÖNÜK ÖNERİLER

Bu araştırmanın sonucunda "Green BIM" açısından hem BIM hem de LCA'nın değerlendirmesinde hem CML ve TRACI sistemlerine uygun tek bir çözüm sunan popüler olabilecek, bir simülasyon paketi programı bulunamamıştır. LEED yeşil bina sertifikayonu sunan ve hem CML hem de TRACI'yı içeren yazılım versiyonu var mı diye Revit ve Archicad programlarının uluslararası sürümlerine de bakılmıştır, fakat ikisi arasında seçim yapmayı sağlayan bir seçenek durumu bulunamamıştır. Simülasyon araştırmasında Green BIM'i gerçekliğe geçirme işlemi, dijital olarak henüz başarıya ulaşmış gözükmemektedir. Mimari yazılım programlarının çoğu Green BIM'ı proje tasarım bazlı değil; kütlesel tasarım olarak inceleyebilmektedir, yani LOD seviyesini düşük almaktadırlar. LCA olarak geliştirilen yazılımlar ve eklenti programları projeyi olduğu gibi alma konusunda henüz yeterli bulunmamaktadır. Bu konu kapalı BIM (bir firma tarafından veri kaybı olmadan farklı amaçlı programlara geçiş yapabilen BIM uygulamaları kullanımı) ve açık BIM (Farklı Firmaların IFC formatında veri alışverişi yaptığı ve bilginin en az kayba uğradığı uygulamaların kullanımı) mantığıyla geliştirilen tüm program ve programcıkları kapsamaktadır. Bu bakımdan ilgili mimari yazılımların, tüm bina modelleme açısından daha fazla istenilen ve ihtiyaç duyulan seviyeye gelemediği görülmüştür. Bu araştırmanın geliştirilebilmesi için programların LCA'ya adaptasyonlarında BIM ve LOD seviyelerinin yükseltilmiş olan programların geliştirilmesi elzem taşımakadır.

BIM hakkında AHP'den çıkan en önemli sonuçlardan biri Deprem ve zemin özelliklerinin de BIM'e işlenmesi konusudur. BIM son gelen boyutlarıyla beraber ileriye doğru yeterince büyümüştür. Bundan sonraki BIM'den beklenti geriye doğru büyüyebilmesi olmaktadır. Geriye doğru büyümede gelişmiş bir GIS ağı geliştirmesi ve böylece ileriye doğru büyümede 'Akıllı şehir olarak doğal afetlerde merkezi yönetimden idare edilir duruma' gelinmesidir. Bu iki kavram birbiriyle alakasız gibi görünse de; birlikte çalışmaları gerektiği ve çalışabilecekleri düşünülmektedir. Düzgün bir kentselleşme için GIS verilerinin içine deprem ve zemin özelliklerinin girilmesi bir tek ülkemizde değil, tüm dünya için büyük önem taşır.

Tez kapsamında geliştirilen bu çalışmanın önemi BIM boyutlarına yenilerinin eklenmiş olmasının ve geriye doğru büyümenin önünün açılmasının önemini vurgulamaktadır. Kullanılan yaygın yazılımların, günümüzde çevresel etkiler bakımından nihai uygulama çözümlerine erdirilemediği gözükmektedir. Bunun sebebi ise her kıtanın farklı çevresel etkileri incelemeyi seçmiş olmasıdır ki, ülkelerin farklı standartlar çıkartarak küresel iklim kriziyle savaşmayı seçmesi, bir elden çözüm sunmayı engellemektedir. Ülkelerin kendi çözümlerini yaratacak şekilde politikalar izlemesi ve yazılımlar geliştirmesinin desteklemesi gerekmektedir. Yoksa dünya bazında 2050 ve Türkiye bazında 2053 iklim sıfır karbon projesi, hedeflerine ulaşılması zor bir hedef olarak gözükmektedir.

7. KAYNAKLAR:

A400. (2023, Eylül 5). *Beyond 3D: The 10 BIM dimensions*. Erişim adresi: https://www.linkedin.com/pulse/beyond-3d-10-bim-dimensions-a400/(Erişim tarihi: 28 Nisan 2025).

Abbasi, S., Taghizade, K., & Noorzai, E. (2020). Bim-based combination of takt time and discrete event simulation for implementing just in time in construction scheduling under constraints. *Journal of Construction Engineering and Management*, *146*(12). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001940

Abdelaal, M. A., Seif, S. M., El-Tafesh, M. M., Bahnas, N., Elserafy, M. M., & Bakhoum, E. S. (2023). Sustainable assessment of concrete structures using BIM–LCA–AHP integrated approach. *Environment, Development and Sustainability*. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03701-3

Abed, H. R., Hatem, W. A., & Jasim, N. A. (2020). Role of BIM technology in enhancing safety analysis of Iraqi oil projects. *Asian Journal of Civil Engineering*, *21*(4), 695-706.

Ad Aren. (2025). *Projeler*. Erişim adresi: https://www.adareninsaat.com/,(Erişim tarihi: 01 Haziran 2025)

Aibinu, A., & Venkatesh, S. (2014). Status of BIM adoption and the BIM experience of cost consultants in Australia. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, *140*(3). https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000193

Akçalı, Ü. (2010). *İnşaat terimleri sözlüğü*. Ünal Akçalı.

Aladağ, H. (2022). Türk İnşaat Sektöründe Dijital Dönüşüm Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, *10*(3), 973-986.

Alashwal, A. M., & Chew, M. Y. (2017). Simulation techniques for cost management and performance in construction projects in Malaysia. *Built Environment Project and Asset Management*, *7*(5), 534-545

Altohami, A. B. A., Haron, N. A., Ales@Alias, A. H., & Law, T. H. (2021). Investigating Approaches of Integrating BIM, IoT, and Facility Management for Renovating Existing Buildings: A Review. *Sustainability*, *13*(7), 3930.

Alwan, Z., & Ilhan Jones, B. (2022). IFC-based embodied carbon benchmarking for early design analysis. *Automation in Construction*, *142*. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104505

Andriamamonjy, A., Saelens, D., & Klein, R. (2019). A combined scientometric and conventional literature review to grasp the entire BIM knowledge and its integration with energy simulation. *Journal of Building Engineering*, *22*(September 2018), 513-527.

Ansah, M. K., Chen, X., Yang, H., Lu, L., & Lam, P. T. I. (2019). A review and outlook for integrated BIM application in green building assessment. *Sustainable Cities and Society*, *48*(April), 101576. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101576

Antón, L. Á., & Díaz, J. (2014). Integration of Life Cycle Assessment in a BIM Environment. *Procedia Engineering*, *85*, 26-32.

Aredah, A. S., Baraka, M. A., & Elkhafif, M. (2019). Project Scheduling Techniques Within a Building Information Modeling (BIM) Environment: A Survey Study. *IEEE Engineering Management Review*, *47*(2), 133-143.

Avan, Ç., Yıldız, H., & Avan, E. (2021). Tuğla, Bims Ve Gazbetonun Isıl Verimlilik Ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, *4*(2), 59-63.

Bachi, M. M., & Bellato, D. (2020). Implementation and integration of digital solution in the construction processes of special foundations | Implementierung und Integration digitaler Lösungen in Prozesse des Spezialtiefbaus. *Geotechnik*, *43*(4), 308-317.

Ballard, H. G. (2000). 'The last planner system of production control', Doktora Tezi, University of Birmingham, Birmingham, UK. https://etheses.bham.ac.uk/

Baloi, D. (2003). Sustainable construction: challenges and opportunities. *ARCOM Conference,3-5 September 2003*.

Bansal, V. K. (2011). Use of GIS and topology in the identification and resolution of space conflicts. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *25*(2), 159-171.

Bansal, V. K., & Pal, M. (2011). Construction projects scheduling using GIS tools. *International Journal of Construction Management*, *11*(1), 1-18.

Biancardo, S. A., Russo, F., Veropalumbo, R., Vorobjovas, V., & Dell'Acqua, G. (2020). Modeling Roman Pavements Using Heritage-BIM: A Case Study in Pompeii. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, *15*(3), 34-46.

BibLus. (2024, Ekim 28). *BIM'in 10 boyutu*. Erişim adresi: https://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions/ (Erişim tarihi: 27 Nisan 2025)

BIMLEAD. (2025). *LOD geliştirme aşamaları*. Erişim adresi: https://www.bim-lead.com/ar/services/. (Erişim tarihi: 28 Nisan 2025).

Bimteknoloji. (2019, Temmuz 29). *LOD kavramı.*. Erişim adresi: https://www.bimteknoloji.com/fikir/model-tanim-duzeyi-lod-level-of-development/, (Erişim tarihi: 03 Haziran 2025).

Bobrova, T. V, & Panchenko, P. M. (2017). Technical normalization of working processes in construction based on spatial-temporal modeling. *Magazine of Civil Engineering*, *76*(8), 84-97.

Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. *Automation in Construction*, *114*, 103179.

Bortolini, R., Formoso, C. T., & Viana, D. D. (2019). Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling. *Automation in Construction*, *98*, 248-264.

Bosché, F., Guillemet, A., Turkan, Y., Haas, C. T., & Haas, R. (2014). Tracking the built status of MEP works: Assessing the value of a Scan-vs-BIM system. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *28*(4). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000343

Boschert, S., & Rosen, R. (2016). Digital Twin—The Simulation Aspect. Içinde *Mechatronic Futures* (ss. 59-74). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32156-1_5

BREEAM. (2025). *How BREEAM works?* Erişim adresi. https://breeam.com/about/how-breeam-works: (Erişim tarihi: 06 Haziran 2025).

BTG gaz beton yapı. (2024). *Gazbeton Nedir?* Erişim adresi: https://betongyapi.com/gazbeton/#:~:text=Gazbeton%3B%20silisli%20kum%20(kuvarsit),durgun%20hava%20i%C3%A7eren%20g%C3%B6zeneklerden%20olu%C5%9Fur. (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2025)

Butkovic, B., Heesom, D., & Oloke, D. (2019). The need for multi-LOD 4D simulations in construction projects. *Journal of Information Technology in Construction*, *24*, 256-272.

Candelario Garrido, A., García-Sanz-Calcedo, J., Salgado, D. R., & González, A. G. (2017). Planning, monitoring and control of mechanics projects by the BIM. *Engineering Transactions*, *65*(1), 25-30.

Candelario-Garrido, A., García-Sanz-Calcedo, J., & Rodríguez, A. M. R. (2017). A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems versus Conventional Systems in building projects. *Sustainable Cities and Society*, *35*, 378-384.

Cao, L., Li, T., & Wang, F. (2024). Heat insulation and thermal insulation method of passive low energy consumption residential building exterior envelope structure based on BIM. *Results in Engineering*, *23*, 102734. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102734

Cárdenas, C., Zapata, P., & Lozano, N. (2018). Building Information Modeling 5D and Earned Value Management methodologies integration through a computational tool | Integración de las metodologías Building Information Modeling 5D y Earned Value Management a través de una herramienta computacional. *Revista Ingenieria de Construccion*, *33*(3), 263-278.

Carvalho, J. P., Alecrim, I., Bragança, L., & Mateus, R. (2020). Integrating BIM-Based LCA and Building Sustainability Assessment. *Sustainability*, *12*(18), 7468. https://doi.org/10.3390/su12187468

Charef, R., Alaka, H., & Emmitt, S. (2018). Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of Building Engineering*, *19*, 242-257.

Charehzehi, A., Chai, C., Yusof, A. M., Chong, H.-Y., & Loo, S. C. (2017). Building information modeling in construction conflict management. *International Journal of Engineering Business Management*, *9*. https://doi.org/10.1177/1847979017746257

Chen, C., & Song, M. (2017). Representing Scientific Knowledge: The Role of Uncertainty (1. bs). Springer.

Chen, L., Huang, L., Hua, J., Chen, Z., Wei, L., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W., Dong, L., & Yap, P.-S. (2023). Green construction for low-carbon cities: a review. *Environmental Chemistry Letters*, *21*(3), 1627-1657.

Chen, L., & Luo, H. (2014). A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in Construction*, *46*, 64-73.

Chen, Y.-J., Lai, Y.-S., & Lin, Y.-H. (2020). BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment. *Automation in Construction*, *110*, 103041. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103041

Cheng, J. C. P., Tan, Y., Song, Y., Liu, X., & Wang, X. (2017). A semi-automated approach to generate 4D/5D BIM models for evaluating different offshore oil and gas platform decommissioning options. *Visualization in Engineering*, *5*(1). https://doi.org/10.1186/s40327-017-0053-2

Cheng, M.-Y., & Chang, N.-W. (2019). Dynamic construction material layout planning optimization model by integrating 4D BIM. *Engineering with Computers*, *35*(2), 703-720.

Choe, S., & Leite, F. (2017). Construction safety planning: Site-specific temporal and spatial information integration. *Automation in Construction*, *84*, 335-344.

Choi, B., Lee, H.-S., Park, M., Cho, Y. K., & Kim, H. (2014). Framework for work-space planning using four-dimensional BIM in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, *140*(9). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000885

Choi, J., Leite, F., & de Oliveira, D. P. (2018). BIM-based benchmarking system for healthcare projects: Feasibility study and functional requirements. *Automation in Construction*, *96*, 262-279.

Ciribini, A. L. C., Ventura, S. M., & Paneroni, M. (2016). Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM Pilot Project. *Automation in Construction*, *71*, 62-73.

D'Amico, F., D'Ascanio, L., Falco, M. C. De, Ferrante, C., Presta, D., & Tosti, F. (2020). BIM for infrastructure: An efficient process to achieve 4D and 5D digital dimensions. *European Transport - Trasporti Europei*, *77*.

Demirkesen, S., & Ozorhon, B. (2017). Impact of integration management on construction project management performance. *International Journal of Project Management*, *35*(8), 1639-1654.

Deng, Y., Gan, V. J. L., Das, M., Cheng, J. C. P., & Anumba, C. (2019). Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, *145*(4). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001633

Devlin, G. (2025, Nisan 7). *EPD Bootcamp 2025 session1*. One-Click LCA.

Di Santo, N., Guante Henriquez, L., Dotelli, G., & Imperadori, M. (2023). Holistic Approach for Assessing Buildings' Environmental Impact and User Comfort from Early Design: A Method Combining Life Cycle Assessment, BIM, and Active House Protocol. *Buildings*, *13*(5), 1315. https://doi.org/10.3390/buildings13051315

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

Dodoo, A., Gustavsson, L., & Tettey, U. Y. A. (2019). Cost-optimized energy-efficient building envelope measures for a multi-storey residential building in a cold climate. *Energy Procedia*, *158*, 3760-3767.

Durdyev, S., Ashour, M., Connelly, S., & Mahdiyar, A. (2022). Barriers to the implementation of Building Information Modelling (BIM) for facility management.

Journal of Building Engineering, *46*, 103736. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103736

Elbeltagi, E., & Dawood, M. (2011). Integrated visualized time control system for repetitive construction projects. *Automation in Construction*, *20*(7), 940-953.

Eleftheriadis, S., Mumovic, D., & Greening, P. (2017). Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *67*, 811-825.

Elghaish, F., & Abrishami, S. (2020). Developing a framework to revolutionise the 4D BIM process: IPD-based solution. *Construction Innovation*, *20*(3), 401-420.

Elghaish, F., Abrishami, S., Hosseini, M. R., & Abu-Samra, S. (2020). Revolutionising cost structure for integrated project delivery: a BIM-based solution. *Engineering, Construction and Architectural Management*. https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2019-0222

Elghaish, F., Abrishami, S., Hosseini, M. R., Abu-Samra, S., & Gaterell, M. (2019). Integrated project delivery with BIM: An automated EVM-based approach. *Automation in Construction*, *106*. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102907

Elghaish, F., Hosseini, M. R., Talebi, S., Abrishami, S., Martek, I., & Kagioglou, M. (2020). Factors driving success of cost management practices in integrated project delivery (IPD). *Sustainability (Switzerland)*, *12*(22), 1-14.

EPD Hub. (2025). *EPD-basics*. Erişim adresi: https://www.epdhub.com/.(Erişim tarihi: 26 Mayıs 2025)

Eynon, J. (2016). *Construction Manager's BIM Handbook* (1. bs). John Wiley & Sons.

Fan, S.-L., Wu, C.-H., & Hun, C.-C. (2015). Integration of cost and schedule using BIM. *Journal of Applied Science and Engineering*, *18*(3), 223-232.

Francis, A. (2020). Chronographical Site-Spatial-Temporal Modeling of Construction Operations. *Frontiers in Built Environment*, *6*. https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00067

Francis, A., & Thomas, A. (2020). Exploring the relationship between lean construction and environmental sustainability: A review of existing literature to decipher broader dimensions. *Journal of Cleaner Production*, *252*, 119913. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119913

Francisco, A., Truong, H., Khosrowpour, A., Taylor, J. E., & Mohammadi, N. (2018). Occupant perceptions of building information model-based energy visualizations in eco-feedback systems. *Applied Energy*, *221*, 220-228.

Francisco, L., & Iker, G. (2018). BIM in Hs2. Information management | BIM en Hs2 Gestión de la información. *Revista de Obras Publicas*, *165*(3597), 60-65.

Ganah, A. A., & John, G. A. (2017). BIM and project planning integration for on-site safety induction. *Journal of Engineering, Design and Technology*, *15*(3), 341-354.

Gao, X., & Pishdad-Bozorgi, P. (2019). BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review. *Advanced Engineering Informatics*, *39*(August 2018), 227-247.

Gelisen, G., & Griffis, F. H. (2014). Automated productivity-based schedule animation: Simulation-based approach to time-cost trade-off analysis | Productividad Automatizada Basada en el Itinerario Animado (APBSA): Una Simulacion Basada en un Enfoque del Analisis de Compensacion Tiempo-Costo. *Journal of Construction Engineering and Management*, *140*(4). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000674

Gledson, B. J., & Greenwood, D. (2017). The adoption of 4D BIM in the UK construction industry: An innovation diffusion approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *24*(6), 950-967.

Global ABC. (2025). *Sustainable Building Materials Hub.*. Erişim adresi: https://globalabc.org/sustainable-materials-hub/home, (Erişim tarihi: 22 Mayıs 2025)

Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F., & Savarese, S. (2015). Automated progress monitoring using unordered daily construction photographs and IFC-based building information models. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *29*(1). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000205

Golzarpoor, H., González, V., Shahbazpour, M., & O'Sullivan, M. (2017). An input-output simulation model for assessing production and environmental waste in construction. *Journal of Cleaner Production*, *143*, 1094-1104.

Gong, P., Zeng, N., Ye, K., & König, M. (2019). An Empirical Study on the Acceptance of 4D BIM in EPC Projects in China. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(5). https://doi.org/10.3390/su11051316

Grieves, M. (2015, Mart 1). *Digital Twin: Manufacturing Excellence Through Virtual Factory Replication*. (Erişim tarihi: 19 Mayıs 2025. https://www.researchgate.net. https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication

Guerra, B. C., Leite, F., & Faust, K. M. (2020). 4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams. *Waste Management*, *116*, 79-90.

Guignone, G., Calmon, J. L., Vieira, D., & Bravo, A. (2023). BIM and LCA integration methodologies: A critical analysis and proposed guidelines. *Journal of Building Engineering*, *73*, 106780. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106780

Hallberg, D., & Tarandi, V. (2011). On the use of open bim and 4D visualisation in a predictive life cycle management system for construction works. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, *16*, 445-466.

Hamada, H. M., Haron, A. T., Zahrizan, Z. Z., & Humada, A. M. (2017). Implementation of 4D/BIM in the Iraqi construction industry. *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*, *9*(4), 227-236.

Hamledari, H., McCabe, B., Davari, S., & Shahi, A. (2017). Automated Schedule and Progress Updating of IFC-Based 4D BIMs. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *31*(4). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000660

Han, Z. H., Wang, Z. K., Gao, C., Wang, M. X., & Li, S. T. (2020). Application of GIS and BIM Integration Technology in Construction Management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *526*(1), 012161. https://doi.org/10.1088/1755-1315/526/1/012161

Harter, H., Singh, M. M., Schneider-Marin, P., Lang, W., & Geyer, P. (2020). Uncertainty Analysis of Life Cycle Energy Assessment in Early Stages of Design. *Energy and Buildings*, *208*, 109635. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109635

He, W., Shi, Y., & Kong, D. (2019). Construction of a 5D duration and cost optimisation model based on genetic algorithm and BIM. *Journal of Engineering, Design and Technology*, *17*(5), 929-942.

Hegger, M., Drexler, H., & Zeumer, M. (2012). *Adım Adım Yapı Malzemeleri*. YEM yayın-194.

Heidari, A., Peyvastehgar, Y., & Amanzadegan, M. (2024). A systematic review of the BIM in construction: from smart building management to interoperability of BIM & AI. *Architectural Science Review*, *67*(3), 237-254.

Hernández, H., Ossio, F., & Silva, M. (2023). Assessment of Sustainability and Efficiency Metrics in Modern Methods of Construction: A Case Study Using a Life Cycle Assessment Approach. *Sustainability*, *15*(7), 6267. https://doi.org/10.3390/su15076267

Hochmuth, M. (2016). Parameterized bridge design - Conceptual, preliminary and detailed design | Parametrisierter Brückenentwurf: Vor-, Entwurfs- und Ausführungsplanung. Içinde *Bautechnik* (C. 93, Sayı 3, ss. 162-169).

Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2011). *Factory physics*. Waveland Press.

Hosny, A., Nik-Bakht, M., & Moselhi, O. (2020). Workspace planning in construction: non-deterministic factors. *Automation in Construction*, *116*. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103222

Hossain, M. A., Abbott, E. L. S., Chua, D. K. H., Nguyen, T. Q., & Goh, Y. M. (2018). Design-for-Safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews. *Automation in Construction*, *94*(June), 290-302. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.010

Huijiang Wang, Z. (2023). A Survey of Factors and Life Cycle Assessment in Selection of Green Construction Materials. *Journal of Computational Intelligence in Materials Science*, 23-33. https://doi.org/10.53759/832X/JCIMS202301003

İkiokko. (2022, Şubat 17). *DGNB yesil bina sertifika kriterleri* Erişim adresi: https://ikiokka.com/dgnb-yesil-bina-sertifika-kriterleri, (Erişim tarihi: 06 Haziran 2025).

Integrated BIM. (2024). *What is BIM?*. Erişim adresi: https://integratedbim.com/what-is-bim-explained/. (Erişim tarihi: 29 Nisan 2025)

Isikdag, U., & Zlatanova, S. (2009). Towards Defining a Framework for Automatic Generation of Buildings in CityGML Using Building Information Models. Içinde *3D Geo-Information Sciences* (ss. 79-96). Springer Berlin Heidelberg.

iyi gün yapı. (2025). *Güneş kırıcı sistemler/Ürünlerimiz*. Erişim adresi:. https://www.iyigunyapi.com/. (Erişim tarihi: 24 Mayıs 2025)

Jiang, Y., Zhao, D., Wang, D., & Xing, Y. (2019). Sustainable Performance of Buildings through Modular Prefabrication in the Construction Phase: A Comparative Study. *Sustainability*, *11*(20), 5658. https://doi.org/10.3390/su11205658

Jin, R., Zhong, B., Ma, L., Hashemi, A., & Ding, L. (2019). Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle. *Automation in Construction*, *106*(September 2018), 102861. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102861

Jung, Y., & Joo, M. (2011). Building information modelling (BIM) framework for practical implementation. *Automation in Construction*, *20*(2), 126-133.

Junussova, T., Nadeem, A., Kim, J. R., & Azhar, S. (2023). Key Drivers for BIM-Enabled Materials Management: Insights for a Sustainable Environment. *Buildings*, *14*(1), 84. https://doi.org/10.3390/buildings14010084

Kaewunruen, S., & Lian, Q. (2019). Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout systems. *Journal of Cleaner Production*, *228*, 1537-1551.

Kaewunruen, S., Sresakoolchai, J., & Zhou, Z. (2020). Sustainability-based lifecycle management for bridge infrastructure using 6D BIM. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(6). https://doi.org/10.3390/su12062436

Kaewunruen, S., & Xu, N. (2018). Digital twin for sustainability evaluation of railway station buildings. *Frontiers in Built Environment*, *4*. https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00077

Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *62*, 1171-1183.

Kastomonu inşaat. (2024, Kasım 26). *Tuğla, Bims, Gazbeton Karşılaştırması: Hangi Yapı Malzemesi Daha İyi?* Erişim adresi: https://kastamonuinsaat.com.tr/. (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2025).

Keerthana, D. R., & Gunarani, G. I. (2019). BIM aided real time progress management model for construction. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, *8*(7), 734-738.

Kehily, D., & Underwood, J. (2017). Embedding life cycle costing in 5D BIM. *Journal of Information Technology in Construction*, *22*, 145-167.

Khahro, S. H., Kumar, D., Siddiqui, F. H., Ali, T. H., Raza, M. S., & Khoso, A. R. (2021). Optimizing Energy Use, Cost and Carbon Emission through Building Information Modelling and a Sustainability Approach: A Case-Study of a Hospital Building. *Sustainability*, *13*(7), 3675. https://doi.org/10.3390/su13073675

Khanzadi, M., Sheikhkhoshkar, M., & Banihashemi, S. (2020). BIM applications toward key performance indicators of construction projects in Iran. *International Journal of Construction Management*, *20*(4), 305-320.

Khasani, R. R., & Hidayat, A. (2018). Assessment of bim in high-rise building construction in Indonesia. *International Journal of Scientific and Technology Research*, *7*(7), 112-117.

Kim, H., Anderson, K., Lee, S., & Hildreth, J. (2013). Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology. *Automation in Construction*, *35*, 285-295.

Kim, J. I., Kim, J., Fischer, M., & Orr, R. (2015). BIM-based decision-support method for master planning of sustainable large-scale developments. *Automation in Construction*, *58*, 95-108.

Kim, M.-K., Wang, Q., Park, J.-W., Cheng, J. C. P., Sohn, H., & Chang, C.-C. (2016). Automated dimensional quality assurance of full-scale precast concrete elements using laser scanning and BIM. *Automation in Construction*, *72*, 102-114.

Klein, L., Li, N., & Becerik-Gerber, B. (2012). Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. *Automation in Construction*, *21*(1), 161-171.

Kocakaya, M. N., Namlı, E., & Işıkdağ, Ü. (2019). Building Information Management (BIM), A New Approach to Project Management. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies* , *4*(1), 323-332.

Kompozit pazarı. (2022, Aralık 19). *Gazbeton Ytong Nedir? Avantajları ve Dezavantajları Nelerdir?.* Erişim adresi: https://www.kompozitpazari.com/. *(Erişim tarihi: 21 Mayıs 2025).*

Koutamanis, A. (2020). Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? *Automation in Construction*, *114*(March), 103153. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103153

Krygiel, E., & Nies, B. (2008). Green BIM: successful sustainable design with building information modeling. . John Wiley & Sons.

Kwon, O.-S., Park, C.-S., & Lim, C.-R. (2014). A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality. *Automation in Construction*, *46*, 74-81.

Kymäläinen, M. (2025, Nisan 10). *LCA Bootcamp 2025 Session 5*. One Click LCA.

Le, H. T. T., Likhitruangsilp, V., & Yabuki, N. (2020). A BIM-integrated relational database management system for evaluating building life-cycle costs. *Engineering Journal*, *24*(2), 75-86.

Li, L., Yuan, J., Tang, M., Xu, Z., Xu, W., & Cheng, Y. (2021). Developing a BIM-enabled building lifecycle management system for owners: Architecture and case scenario. *Automation in Construction*, *129*, 103814. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103814

Li, S., Fang, Y., & Wu, X. (2020). A systematic review of lean construction in Mainland China. *Journal of Cleaner Production*, *257*, 120581. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120581

Li, X., Wu, P., Shen, G. Q., Wang, X., & Teng, Y. (2017). Mapping the knowledge domains of Building Information Modeling (BIM): A bibliometric approach. *Automation in Construction*, *84*(July), 195-206.

Lin, L.-P., Guo, J.-F., Tang, J.-P., Li, S.-W., & Han, X.-G. (2020). Schedule cost management based on 3D design model for substation . *Shenyang Gongye Daxue Xuebao/Journal of Shenyang University of Technology*, *42*(1), 17-22.

Liu, R., & Hu, X. (2016). Case study of construction cost estimation in China electric power industry based on BIM technology. *International Journal of Grid and Distributed Computing*, *9*(10), 173-186.

Lu, Q., Won, J., & Cheng, J. C. P. (2016). A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Project Management*, *34*(1), 3-21.

Magill, L. J., Jafarifar, N., Watson, A., & Omotayo, T. (2020). 4D BIM integrated construction supply chain logistics to optimise on-site production. *International Journal of Construction Management*. https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1786623

Mahdi, I. M., Mohamedien, M. A., Ibrahim, H. M. H., & Khalil, M. A. E. M. (2019). Proposed management system of marine works based on bim approach (Technology). *Journal of Engineering and Applied Science*, *66*(6), 771-790.

Malacarne, G., Toller, G., Marcher, C., Riedl, M., & Matt, D. T. (2018). Investigating benefits and criticisms of bim for construction scheduling in SMEs: An Italian case study. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *13*(1), 139-150.

Maleknia, S. D., Parcsi, G., & Stuetz, R. M. (2014). Analysis of volatile organic compounds from building materials for indoor air quality assessment. *Air Quality and Climate Change*, *48*(2), 13-16.

María, G. J. (2018). AEDAS Homes, 100[%] BIM in 2018 | 100% BIM en 2018. *Revista de Obras Publicas*, *165*(3597), 54-59.

Martini, M. (2017). *LIVELLI DI SVILUPPO (L.O.D.)*. Erişim adresi: https://www.linkedin.com/pulse/livelli-di-sviluppo-lod-matteo-martini/ (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2025)

Martins, S. S., Evangelista, A. C. J., Hammad, A. W. A., Tam, V. W. Y., & Haddad, A. (2020). Evaluation of 4D BIM tools applicability in construction planning efficiency. *International Journal of Construction Management*. https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1837718

Mashayekhi, A., & Heravi, G. (2020). A decision-making framework opted for smart building's equipment based on energy consumption and cost trade-off using BIM and MIS. *Journal of Building Engineering*, *32*, 101653. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101653

McArthur, J. J. (2015). A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability. *Procedia Engineering*, *118*, 1104-1111.

Merschbrock, C., & Nordahl-Rolfsen, C. (2016). BIM technology acceptance among reinforcement workers - The case of oslo airport's terminal 2. *Journal of Information Technology in Construction*, *21*, 1-12.

Mirarchi, C., Pavan, A., de Marco, F., Wang, X., & Song, Y. (2018). Supporting facility management processes through end-users' Integration and coordinated BIM-GIS technologies. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *7*(5). https://doi.org/10.3390/IJGI7050191

Mohammadi, N., & Taylor, J. E. (2017). Smart city digital twins. *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, 1-5.

Montiel-Santiago, F. J., Hermoso-Orzáez, M. J., & Terrados-Cepeda, J. (2020). Sustainability and energy efficiency: Bim 6d. study of the bim methodology applied to hospital buildings. value of interior lighting and daylight in energy simulation. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(14), 1-29.

Moon, H., Kim, H., Kamat, V. R., & Kang, L. (2015). BIM-based construction scheduling method using optimization theory for reducing activity overlaps. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *29*(3). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000342

Moon, H., Kim, H., Kim, C., & Kang, L. (2014). Development of a schedule-workspace interference management system simultaneously considering the overlap level of parallel schedules and workspaces. *Automation in Construction*, *39*, 93-105.

Mora, C., Spirandelli, D., Franklin, E. C., Lynham, J., Kantar, M. B., Miles, W., Smith, C. Z., Freel, K., Moy, J., Louis, L. V., Barba, E. W., Bettinger, K., Frazier, A. G., Colburn IX, J. F., Hanasaki, N., Hawkins, E., Hirabayashi, Y., Knorr, W., Little, C. M., … Hunter, C. L. (2018). Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions. *Nature Climate Change*, *8*(12), 1062-1071.

Moshtaghian, F., Golabchi, M., & Noorzai, E. (2020). A framework to dynamic identification of project risks. *Smart and Sustainable Built Environment*, *9*(4), 375-393.

Namlı, E., Işıkdağ, Ü., & Kocakaya, M. N. (2019). Building Information Management (BIM), A New Approach to Project Management. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, *4*(1), 323-332.

Narlawar, G. S., Chaphalkar, N. B., & Sandbhor, S. (2019). Time and resource management of residential apartment construction using building information modeling. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, *8*(10), 4238-4246.

Natephra, W., Motamedi, A., Yabuki, N., & Fukuda, T. (2017). Integrating 4D thermal information with BIM for building envelope thermal performance analysis and thermal comfort evaluation in naturally ventilated environments. *Building and Environment*, *124*, 194-208.

Othman, I., Al-Ashmori, Y. Y., Rahmawati, Y., Mugahed Amran, Y. H., & Al-Bared, M. A. M. (2021). The level of Building Information Modelling (BIM) Implementation in Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*, *12*(1), 455-463.

Oti, A. H., Tizani, W., Abanda, F. H., Jaly-Zada, A., & Tah, J. H. M. (2016). Structural sustainability appraisal in BIM. *Automation in Construction*, *69*, 44-58.

ÖKOBAUDAT Platform. (2023). Erişim adresi:. https://www.oekobaudat.de(Erişim tarihi: 25 Nisan 2023)

Önder, G., & Önder, E. (2018). Analitik Hiyerarşi Süreci. Içinde B. F. Yıldırım & E. Önder (Ed.), İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler için Operasyonel, Yönetsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ss. 21-64). DORA.

Özorhon, B. (2018). *Yapı Bilgi Modellemesi*. abaküs.

Pakhale, P. D., & Pal, A. (2020). Digital project management in infrastructure project: a case study of Nagpur Metro Rail Project. *Asian Journal of Civil Engineering*, *21*(4), 639-647.

Pan, Y., & Zhang, L. (2021). Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*, *122*, 103517. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517

Park, J., & Cai, H. (2017). WBS-based dynamic multi-dimensional BIM database for total construction as-built documentation. *Automation in Construction*, *77*, 15-23.

Park, J., Cai, H., Dunston, P. S., & Ghasemkhani, H. (2017). Database-Supported and Web-Based Visualization for Daily 4D BIM. *Journal of Construction Engineering and Management*, *143*(10). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001392

Pleyer, D., & Zettler, D. (2024, Temmuz 15). *Uygulamada BIM boyutları: 3D'den 10D'ye*. Erişim adresi. https://www.3dfindit.com/tr/engiclopedia/bim-boyutlari: (Erişim tarihi: 27 Nisan2025)

PMI. (2017). A guide to the project management body of knowledge.

Poli, L. (2025, Nisan 8). *LCA Bootcamp 2025 session2*. One Click LCA.

Post, N. M. (2008). Constructors grapple with: Resistance to change in field. Içinde *ENR (Engineering News-Record)* (C. 261, Sayı 17, ss. 34-35).

Pučko, Z., Šuman, N., & Rebolj, D. (2018). Automated continuous construction progress monitoring using multiple workplace real time 3D scans. *Advanced Engineering Informatics*, *38*, 27-40.

Rana, R., Ganguly, R., & Gupta, A. K. (2019). Life-cycle assessment of municipal solid-waste management strategies in Tricity region of India. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *21*(3), 606-623.

Reinertsen, D. G. (2009). The principles of product development flow: second generation lean product development. Redondo Beach.

Revizto. (2023, Temmuz 25). *Open BIM in AECO Industry*. Erişim adresi: (https://revizto.com/en/what-is-open-bim/ (Erişim tarihi: 06 Haziran 2025).

Robin, R. O., & Yahya, M. Y. (2023). The Development of Building Information Modelling (BIM) Performance Model for the Malaysian Construction Industry. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, *14*(2), 184-196.

Rohani, M., Shafabakhsh, G., Haddad, A., & Asnaashari, E. (2018). Strategy management of construction workspaces by conflict resolution algorithm and visualization model. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *25*(8), 1053-1074.

Röck, M., Hollberg, A., Habert, G., & Passer, A. (2018). LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. *Building and Environment*, *140*, 153-161.

Rui, Y. (2019). Review of building information modeling (BIM) application in construction industry. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, *8*(6), 83-87.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.

Sacks, R., Barak, R., Belaciano, B., Gurevich, U., & Pikas, E. (2013). KanBIM Workflow Management System: Prototype implementation and field testing. *Lean Construction Journal*, *2013*, 19-35.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook* (3. bs). John Wiley & Sons.

Sacks, R., Radosavljevic, M., & Barak, R. (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, *19*(5), 641-655.

Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. *Automation in Construction*, *103*(March), 221-234.

Schleich, B., Anwer, N., Mathieu, L., & Wartzack, S. (2017). Shaping the digital twin for design and production engineering. *CIRP Annals*, *66*(1), 141-144.

Semtrio. (2025). LEED sertifikası nasıl alınır? Carbondeck Erişim adresi: https://www.semtrio.com/.. (Erişim tarihi: 06 Haziran 2025.

Shahnavaz, F., Taghaddos, H., Najafabadi, R. S., & Hermann, U. (2020). Multi crane lift simulation using Building Information Modeling. *Automation in Construction*, *118*.

ShipProjects. (2023, Haziran 5). *Exploring The Differences And Use Cases Of LOD 100, 200, 400, 500*.. Erişim adresi: https://www.linkedin.com/pulse/exploring-differences-use-cases-lod-100-200-400-500/(Erişim tarihi: 28 Nisan 2025

Shirowzhan, S., Sepasgozar, S. M. E., Edwards, D. J., Li, H., & Wang, C. (2020). BIM compatibility and its differentiation with interoperability challenges as an innovation factor. *Automation in Construction*, *112*(July 2019), 103086. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103086

Shou, W., Wang, J., Wu, P., & Wang, X. (2021). Lean management framework for improving maintenance operation: development and application in the oil and gas industry. *Production Planning and Control*, *32*(7), 585-602.

Son, H., Kim, C., & Cho, Y. K. (2017). Automated Schedule Updates Using As-Built Data and a 4D Building Information Model. *Journal of Management in Engineering*, *33*(4). https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000528

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., & García-Martínez, A. (2017). Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*, *136*, 110-120.

Su, S., Li, S., Ju, J., Wang, Q., & Xu, Z. (2021). A building information modeling-based tool for estimating building demolition waste and evaluating its environmental impacts. *Waste Management*, *134*, 159-169.

SuperDecisions (ver. 3.2). (2023). (Erişim tarihi: 25 Mayıs 2023. https://www.superdecisions.com/

Swallow, M., & Zulu, S. (2019). Benefits and barriers to the adoption of 4d modeling for site health and safety management. *Frontiers in Built Environment*, *4*. https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00086

Tafesse, S., Girma, Y. E., & Dessalegn, E. (2022). Analysis of the socio-economic and environmental impacts of construction waste and management practices. *Heliyon*, *8*(3), e09169. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09169

Tan, Y., Song, Y., Liu, X., Wang, X., & Cheng, J. C. P. (2017). A BIM-based framework for lift planning in topsides disassembly of offshore oil and gas platforms. *Automation in Construction*, *79*, 19-30.

Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*, *101*(June 2018), 127-139.

T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). *Akıllı Şehir Külliyatı*. www.akilisehirler.gov.tr. Erişim adresi: https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/Akilli-Sehir-Kulliyati-v4.2-com.pdf, (Erişim tarihi: 06 Haziran 2025)

TEJJY. (2025). *BIM Modellemesinde Ayrıntı ve Geliştirme Düzeyi (LOD) Açıklandı*. Erişim adresi: https://www.tejjy.com/bim-level-of-development-lod-200-300-350-400-500/(Erişim tarihi: 28 Nisan 2025).

Teknobims. (2022). *Bims Nedir ?* Erişim adresi: https://www.teknobims.com.tr/.(Erişim tarihi: 10 Mayıs 2025).

TGUB.exe. (2024). Erişim adresi: https://ytong.com.tr/isi-yalitim-hesaplama-programi (Erişim tarihi: 25 Mayıs 2024)

The BIM Engineers. (2023, Haziran 8). *BIM'in Farklı Boyutlarını Anlamak: 8D, 9D ve 10D BIM'e Kılavuz*. Erişim adresi: https://thebimengineers.com/blog/view/understanding-the-different-dimensions-of-bim-a-guide-to-8d-9d-and-10d-bim, (Erişim tarihi: 27 Nisan 2025).

Tirunagari, H. V., & Kone, V. (2019). Simulation of construction sequence using BIM 4D techniques. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, *7*(6), 877-881.

Tolunay, D. (2025, Mayıs 26). İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlikteki Son Gelişmeler [Broadcast]. TRT.

Topçu, İ. B., & Uygunoğlu, T. (2021). *Yapı Malzemesi*. Nobel Akademik Yayıncılık.

Tse, T.-C. K., Wong, K.-D. A., & Wong, K.-W. F. (2005). The utilisation of Building Information Models in nD modelling: A study of data interfacing and adoption barriers. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, *10*.

Tsikos, M. (2025, Nisan 10). *LCA Bootcamp 2025 Session 4*. One Click LCA.

Tuegel, E. J., Ingraffea, A. R., Eason, T. G., & Spottswood, S. M. (2011). Reengineering Aircraft Structural Life Prediction Using a Digital Twin. *International Journal of Aerospace Engineering*, *2011*, 1-14.

Tuttas, S., Braun, A., Borrmann, A., & Stilla, U. (2017). Acquisition and Consecutive Registration of Photogrammetric Point Clouds for Construction Progress Monitoring Using a 4D BIM. *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, *85*(1), 3-15.

Tzortzopoulos, P., Ma, L., Soliman Junior, J., & Koskela, L. (2019). Evaluating social housing retrofit options to support clients' decision Making-SIMPLER BIM protocol. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(9). https://doi.org/10.3390/su11092507

Uğur, L. O., & Benli, N. (2022). A Time And Cost Based Literature Research In The Field Of Building Information Modeling (BIM). *3rd International 5 OCAK Congress On Applied Sciences*, 51-82.

Unda, Akkaya, D., Choi, J., Leite, F., de Oliveira, D. P. P., Charehzehi, A., Chai, C., Yusof, A. M., Chong, H.-Y., Loo, S. C. C., Rui, Y., Crowther, J., Ajayi, S. O. O., Lin, L.-P., Guo, J.-F., Tang, J.-P., Li, S.-W., Han, X.-G., Aibinu, A., … Post, N. M. M. (2020). BIM-based construction scheduling method using optimization theory for reducing activity overlaps. *Automation in Construction*, *20*(4), 50-63.

UNEP. (2023, Eylül 12). *Building Materials And The Climate: Constructing A New Future*. Erişim adresi: https://www.unep.org/resources/report/building-materials-and-climate-constructing-new-future, (Erişim tarihi: 22 Mayıs 2025).

Vaidya, V. D., Vaghese, V., & Morey, P. K. (2023). Impact of elevated temperatures on properties of concrete with blast furnace slag as partial replacement of fine aggregate as green building material. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1193*(1), 012024. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1193/1/012024

Vieira, A. R., & Cachadinha, N. (2011). Lean construction and sustainability - Complementary paradigms? A case study. *19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2011, IGLC 2011*, 584-594.

Vigneault, M.-A., Boton, C., Chong, H.-Y., & Cooper-Cooke, B. (2020). An Innovative Framework of 5D BIM Solutions for Construction Cost Management: A Systematic Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, *27*(4), 1013-1030.

Vilventhan, A., Razin, S., & Rajadurai, R. (2021). 4D BIM models for smart utility relocation management in urban infrastructure projects. *Facilities*, *39*(1-2), 50-63.

Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Felländer, A., Langhans, S. D., Tegmark, M., & Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications*, *11*(1), 233. https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y

Vycital, M., & Jarský, C. (2020). N automated nD model creation on BIM models. *Organization, Technology and Management in Construction*, *12*(1), 2218-2231.

Wang, H., & Sun, Y. (2018). Research on green information construction for deep foundation pit of subway station | 地铁车站深基坑绿色信息化施工研究. *Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition)*, *37*(6), 882-887.

Wang, W.-C., Weng, S.-W., Wang, S.-H., & Chen, C.-Y. (2014). Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. *Automation in Construction*, *37*, 68-80.

Wang, Y., Guan, C., Duan, L., & Yang, S. (2015). A BIM simulation method for dynamic construction of deep foundation pit. *Journal of Computational Information Systems*, *11*(17), 6199-6202.

Wang, Y., Guo, C., Du, C., Chen, X., Jia, L., Guo, X., Chen, R., Zhang, M., Chen, Z., & Wang, H. (2021). Carbon peak and carbon neutrality in China: Goals, implementation path, and prospects. *China Geology*, *4*(0), 1-27.

Wei, L. C., Wee, S. T., Sarpin, N., & Shafii, H. (2024). The Strategies of the Use of Green Building Materials Effectively among Contractor in Construction Industry. *RESEARCH IN MANAGEMENT OF TECHNOLOGY AND BUSINESS*, 820-837.

Wikipedia. (2021). CityGML. Erişim adresi: *https://www.wikipedia.org/*.(Erişim tarihi: 10 Haziran 2025).

Will Ikerd, P. E. (2020). *BIM Project Execution Plan Guide*. Charles Pankow Foundation. www.BIMforum.org/bxp

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, *48*(11), 1148-1148.

Wuni, I. Y., & Shen, G. Q. P. (2019). Holistic Review and Conceptual Framework for the Drivers of Offsite Construction: A Total Interpretive Structural Modelling Approach. *Buildings*, *9*(5), 117. https://doi.org/10.3390/buildings9050117

Xu, H., Feng, J., & Li, S. (2014). Users-orientated evaluation of building information model in the Chinese construction industry. *Automation in Construction*, *39*, 32-46.

Xu, Z., Kang, R., & Lu, R. (2020). 3D Reconstruction and Measurement of Surface Defects in Prefabricated Elements Using Point Clouds. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *34*(5). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000920

Yalova valiliği. (2016). *CityGML Nedir?* Erişim adresi. https://yalova.csb.gov.tr/citygml-nedir-haber-95886, : (Erişim tarihi: 10 Haziran 2025).

Ytong. (2025). *Ytong nedir?*. Erişim adresi: https://www.ytong.com.tr/ytong-nedir. (Erişim tarihi: 21 Mayıs 2025).

Zaher, M., Greenwood, D., & Marzouk, M. (2018). Mobile augmented reality applications for construction projects. *Construction Innovation*, *18*(2), 152-166.

Zanni, M., Sharpe, T., Lammers, P., Arnold, L., & Pickard, J. (2019). Developing a methodology for integration of whole life costs into BIM processes to assist design decision making. *Buildings*, *9*(5). https://doi.org/10.3390/buildings9050114

Zeng, S., Li, C., & Zhang, X. (2018). Application of BIM Technology in the Construction Management of a Metro Station . *Modern Tunnelling Technology*, *55*(3), 18-27.

Zhang, J. P., & Hu, Z. Z. (2011). BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Automation in Construction*, *20*(2), 167-180.

Zhang, S., Pan, F., Shi, Y., & Xu, T. (2018). Collaborative schedule-cost management of hydropower projects based on BIM and P3E/C . *Shuili Fadian Xuebao/Journal of Hydroelectric Engineering*, *37*(10), 103-112.

Zhang, X., Zeng, S., & Wang, P. (2017). Application of BIM Techniques to the Construction of the Donggang Station of the Lanzhou Metro. *Modern Tunnelling Technology*, *54*(2), 46-54.

Zhen, X., Furong, Z., Wei, J., Yingying, W., Mingzhu, Q., & Yajun, Y. (2020). A 5D simulation method on post-earthquake repair process of buildings based on BIM. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, *19*(3), 541-560.

Zheng, B., Hussain, M., Yang, Y., Chan, A. P. C., & Chi, H.-L. (2023). Trade-offs between accuracy and efficiency in BIM-LCA integration. *Engineering, Construction and Architectural Management*. https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2023-0270

Zhineng, T. (2018). Application of BIM technology in green building material management system. *E3S Web of Conferences*, *38*, 02017. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183802017

Zhong, J., Zhong, Y., Han, M., Yang, T., & Zhang, Q. (2024). The impact of AI on carbon emissions: evidence from 66 countries. *Applied Economics*, *56*(25), 2975-2989.

Zhou, W., Heesom, D., Georgakis, P., & Tah, J. H. M. (2014). User-centred design for collaborative 4D modelling. *Construction Innovation*, *14*(4), 493-517.

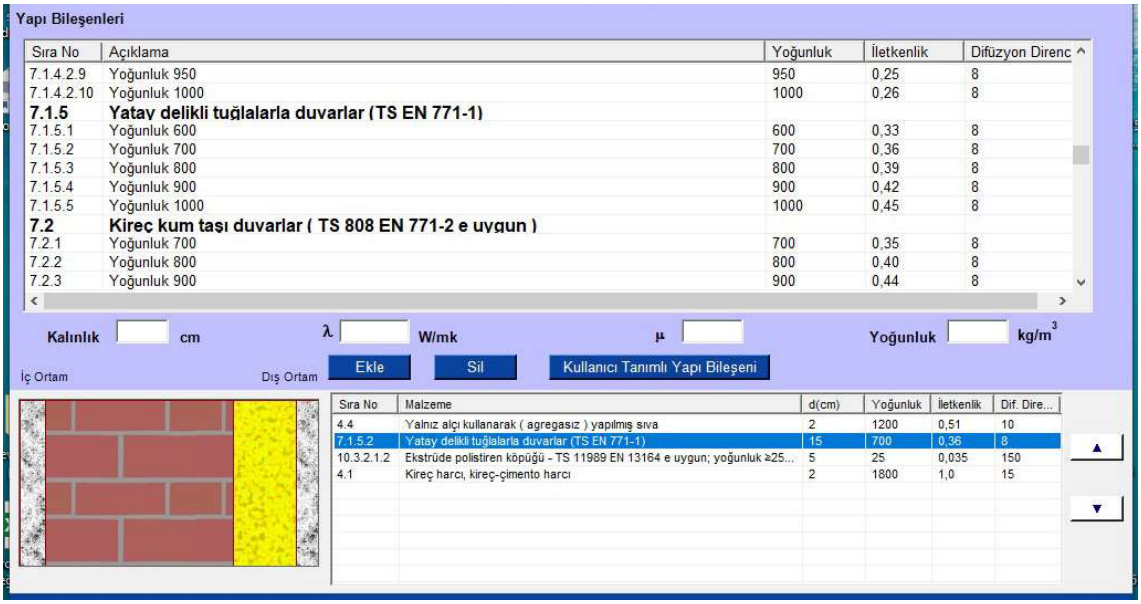
Zhou, Y., Ding, L., Wang, X., Truijens, M., & Luo, H. (2015). Applicability of 4D modeling for resource allocation in mega liquefied natural gas plant construction. *Automation in Construction*, *50*(C), 50-63.

8. EKLER

8.1. EK 1: ALTERNATİF KOMPOZİT DUVAR MALZEMELERİ

8.1.1. TGUB.exe Yazılımında Malzeme Seçimi

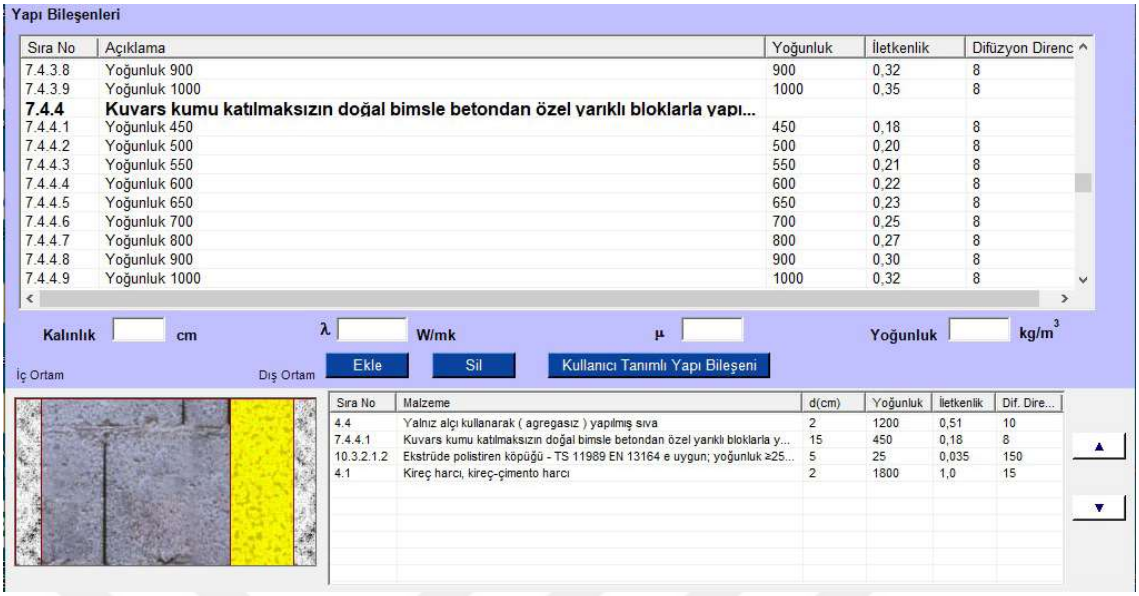
8.1.1.1. Kil Tuğlanın Yoğunluğunun 700 kg/m³ Olarak Seçilmesiyle Duvar Özellikleri



8.1.1.2. Gazbeton Blok Yoğunluğunun 400 kg/m³ Olarak Seçilmesiyle Duvar Özellikleri



8.1.1.3. Bims Blok Yoğunluğunun 450 kg/m³ Olarak Seçilmesiyle Duvar Özellikleri



8.1.2. Archicad Programında Kullanılmak İçin İnternetten Bulunan EPD Verileri ve Türk Standartlarında Seçilen Malzemeye Uyarlanması

8.1.2.1. Duvar Çekirdekleri EPD'sine Ulaşılan İnternet Siteleri

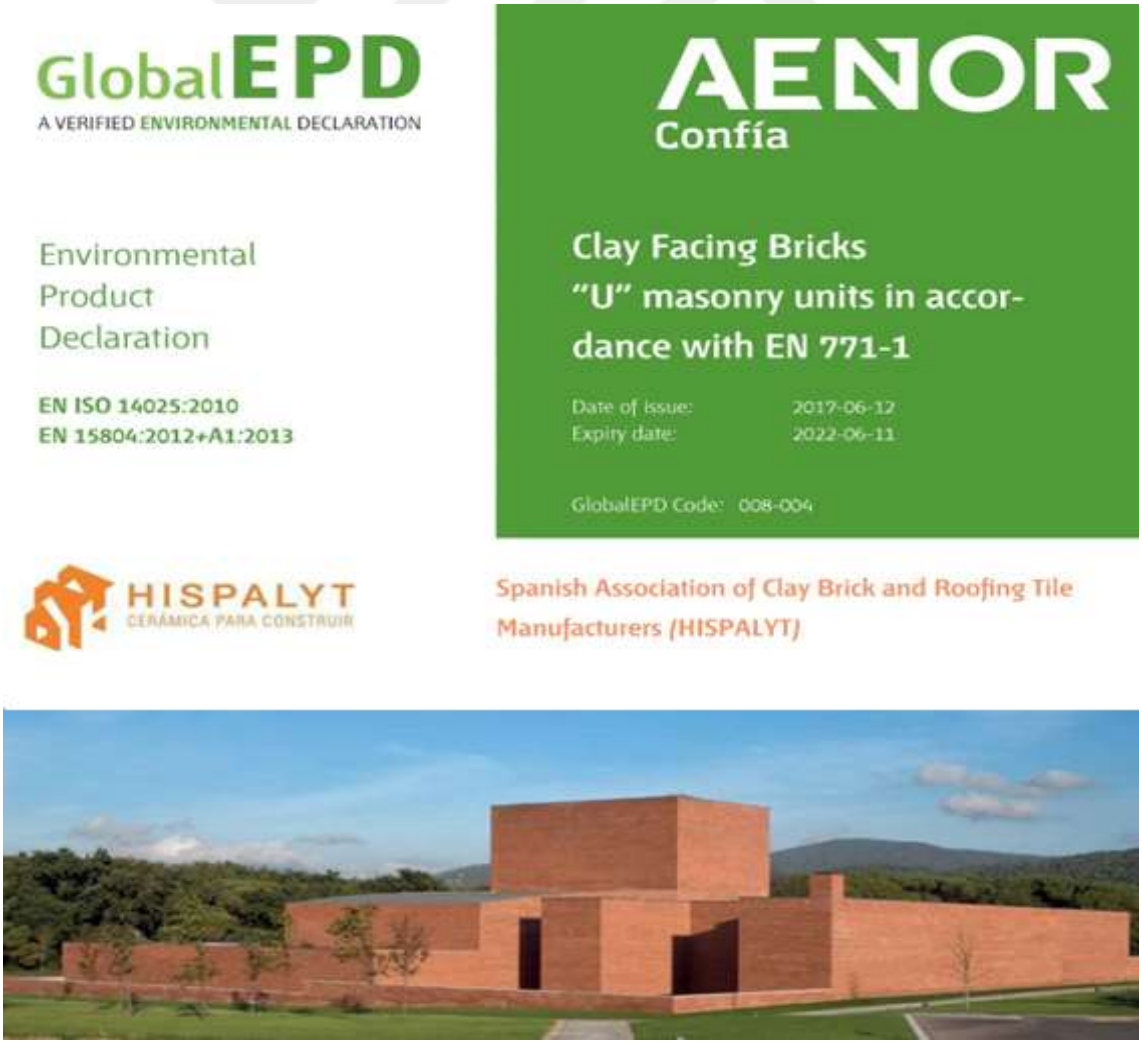
Kil tuğla için https://midlandbrick.co.nz/wp-content/uploads/2023/10/Environmental-Product-Declaration.pdf

Gazbeton blok için https://www.ytong.com.tr/dosyalar/user/Ytong_EPD.pdf

Bims blok için https://www.poncebloc.com.tr/files/EPD.pdf

Not: EPD verilerinde sarı renkte işaretli alanlar A1-A3 arası üretim değerlerini ve malzemenin yoğunluğunu belirtir. Yeşil renkli düzenlenen alanlar ise çalışmada kullanılan çevresel etki değerlerini verir.

8.1.2.2. Kil Tuğla Malzemesi İçin Seçilen EPD Hakkında Bilgiler e Archicad'e Girilmesi İçin Uyarlanan Veriler



4.2. Transport and Construction (A4-A5)

The representative manufacturer bases the calculation of transport distances on the orders served during reference year 2015. The gross dry density of 780 kg/m3 for perforated brick and 2300 kg/m3 for solid brick is based on the Catalogue of construction elements of the Technical Building Code (CTE), March 2010 version.

Parameter	Value (per functional unit)	Unit
Fuel type and consumption of vehicle or vehicle type used for transport	0.297 l diesel/km in 28-34-tonne lorry	
Distance	366	km
Capacity utilisation (including empty returns)	85	%
Bulk density of transported products	Perforated brick 780 Solid brick 2300	kg/m^3
Volume capacity utilisation factor (factor: =1 or <1 or ≥ 1 for compressed or nested packaged products)	< 1	

Table 4. A4 Transport to the building site

In general terms, the installation of ceramic products at the building site is mainly manual and little or negligible use of energy or water is required. The storage of clay products at the building site does not require any special care aside from the usual good safety and health practices. A 3% loss of material (in mass) during the installation has been considered.

Parameter	Value (per functional unit)
Waste materials on the building site before waste processing, generated by the product's installation (specified by type)	30 kg waste 3.18 kg in packaging
Output materials (specified by type) as result of waste processing at the building site e.g. of collection for recycling, for energy recovery, disposal (specified by route)	15.68 kg recycled 0.40 kg recovered 17.12 kg disposal

Table 5. A5 Installation of the product in the building

4.3. Use related to the building fabric (B1-B5)

The PCRs used consider the impact during the phase of use (B1) null or negligible.

The PCRs used consider that clay facing bricks do not require maintenance, repair or replacement. Therefore, no impact is declared in modules B2, B3 and B4.

The impact associated to refurbishing a building with facing bricks is not considered relevant and is declared as such in module B5.

4.4. Use related to the operation of the building (B6-B7)

Modules B6-B7 are not relevant for facing bricks and therefore the impact on these modules is considered null.

4.5. End of life (C1-C4)

Parameter	Value (per functional unit)	Unit
Collection process specified by type	0	kg collected separately
	1000	kg collected with mixed construction waste
Recovery system, specified by type	0	kg for re-use
	460	kg for recycling
	0	kg for energy recovery
Disposal, specified by type	540	kg product or material for final deposition
Assumptions for scenario development	Waste intended for landfill is transported 62 km by road to a controlled inert landfill, while waste intended for recycling is transported 40.5 km	

Table 6. C1-C4 End of life

4.6. Benefits and burdens beyond the limits of the system (D)

Module D has not been taken into consideration

	A1 - A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP	2.56E+02	2.14E+01	2.01E+00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		3.85E+00	1.21E+00	8.67E+00	
ODP	1.42E-07	5.42E-11	1.03E-09	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		9.72E-12	1.26E-11	9.62E-11	
AP	7.67E-01	5.30E-02	1.96E-03	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		9.16E-03	8.36E-03	5.20E-02	
EP	8.44E-02	1.30E-02	4.00E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	NR	0.00	0.00	NR	2.25E-03	2.02E-03	7.07E-03	MNA
POCP	7.44E-02	-1.63E-02	4.17E-04	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		-2.74E-03	1.22E-03	5.00E-03	
ADPE	2.27E-03	1.67E-06	-2.40E-08	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		2.99E-07	2.15E-06	2.99E-06	
ADFP	3.39E+03	2.93E+02	4.60E+00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		5.25E+01	5.48E-01	1.13E+02	

GWP	[kg CO_2 eq]	Global warming potential
ODP	[kg CFC-11 eq]	Depletion potential of the stratospheric ozone layer
AP	[kg SO_2 eq]	Acidification potential of soil and water
EP	[kg $(PO_4)^{3-}$ eq]	Eutrophication potential
POCP	[kg etileno eq]	Formation potential of tropospheric ozone
ADPE	[kg Sb eq]	Abiotic depletion potential for non fossil resources
ADPF	[MJ]	Abiotic depletion potential for fossil resources

Table 7. Parameters describing environmental impacts defined in EN 15804

	A1 - A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
SW-ECOTOX	1.81E+00	1.36E-01	1.49E-03	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		2.43E-02	1.00E-02	4.01E-02	
H-TOX	5.04E+02	5.17E-01	1.89E-02	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		9.26E-02	8.75E-02	5.62E-01	
M-ECOTOX	7.14E+06	2.97E+02	6.74E+01	0.00	0.00	0.00	0.00	NR	0.00	0.00	NR	5.32E+01	4.89E+01	1.84E+03	MNA
T-ECOTOX	8.50E-02	7.75E-02	7.33E-03	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		1.39E-02	3.83E-03	2.11E-01	

SW-ECOTOX	[kg DCB eq]	Freshwater ecotoxicity
H-TOX	[kg DCB eq]	Human toxicity
M-ECOTOX	[kg DCB eq]	Marine ecotoxicity
T-ECOTOX	[kg DCB eq]	Terrestrial ecotoxicity

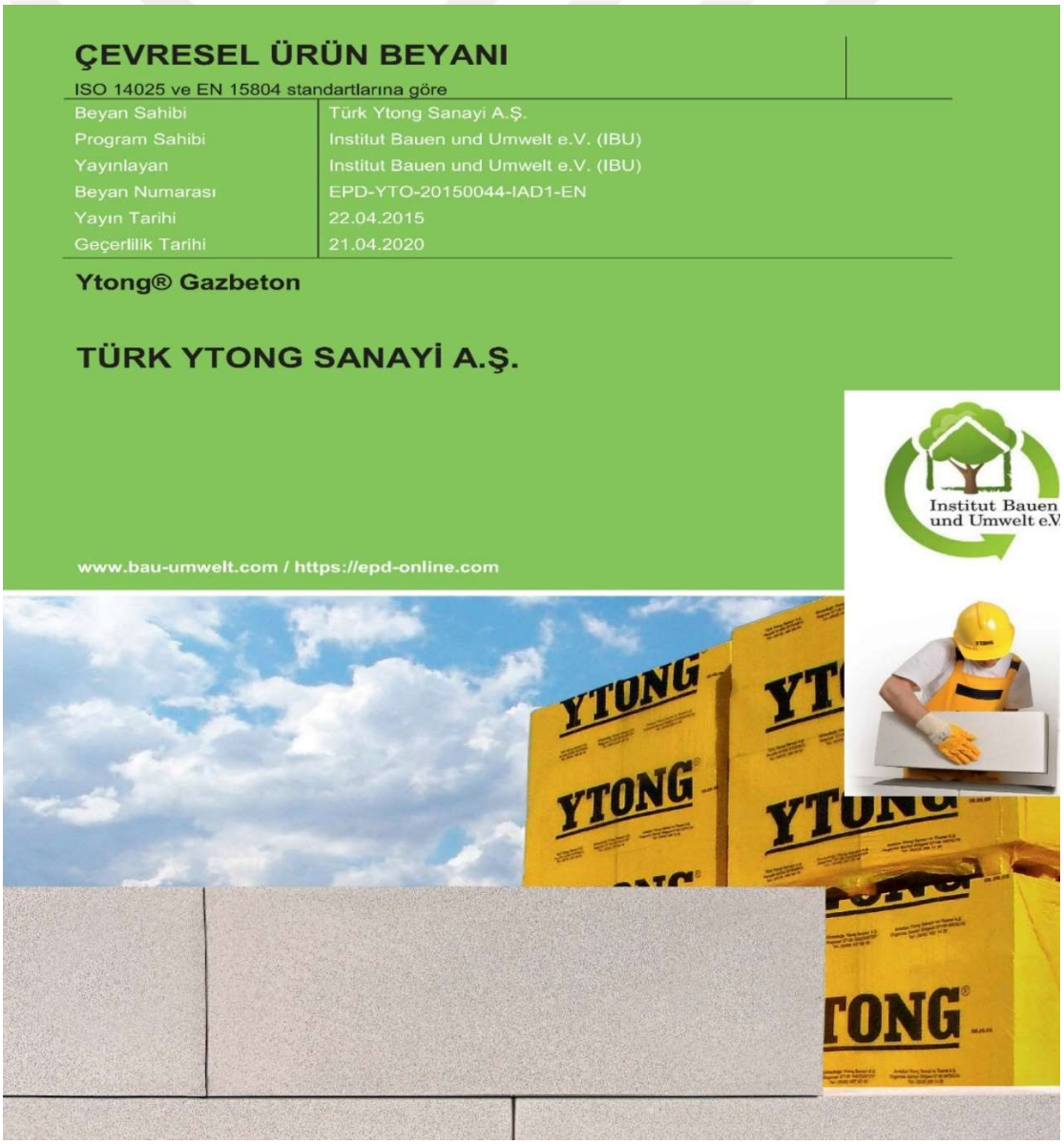
Table 8. Parameters describing additional environmental impact other than those defined in EN 15804

700kg/m³ yoğunluklu 15cm'lik tuğla için hesaplar:

EPD Yoğunluğu:	780	kg/m³
Kullanılan Malzeme Yoğunluğu:	700	kg/m³

	EPD değerleri	Malzeme değerleri	Birimi
Global Warming Potential (GWP)	2.56E+02	2.30E+02	kg CO_2-Eq
Ozone Depletion Potential (ODP)	1.42E-07	1.27436E-07	kg CFC-11-Eq
Acidification Potential (AP)	7.67E-01	6.88E-01	kg SO_2-Eq
Eutrophication Potential (EP)	8.44E-02	7.57E-02	kg $(PO_4)^3$-Eq
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	7.44E-02	6.68E-02	kg C_2H_4-Eq (ethylene-eq)
Abiotic Depletion Potential / Fossil Fuel Depletion (ADP)	3.39E+03	3.04E+03	MJ

8.1.2.3. Gazbeton Blok Malzemesi İçin Seçilen EPD Hakkında Bilgiler ve Archicad'e Girilmesi İçin Uyarlanan Veriler



Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD): Hesaplama Kuralları

Beyan Edilen Birim
Ürün Sınıflandırma Kurallarına (PCR) göre, bu ürün kategorisi için fonksiyonel birim 1 metre küp (m3) Gazbeton Blok olarak tanımlanmıştır.

Bu sebeple, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi sonuçları, 1m^3 analiz edilen ürün grubu içindir.

Beyan Edilen Birim

İsim	Değer	Birim
Beyan edilen birim	1	m^3
Brüt Kuru Birim Hacim Ağırlığı	398	kg/m^3
1 kg'a çevirim faktörü	0,0025	-

Sistem Sınırı
EPD'nin türü: beşikten kapıya

Çalışma kapsamında A1-A3 ürün yaşam döngüsü aşamaları haricindeki modüller dikkate alınmadığından Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin sistem sınırları 'beşikten kapıya'dır. Bu demek oluyor ki, sistem sınırı Ytong Gazbeton blok ürünlerinin ham maddelerin çıkarılmasından nihai paketlenmiş ürünün üretimine kadar ki tüm süreçlerini kapsamaktadır (beşikten-kapıya).

Ürün aşaması A1 (hammaddelerin çıkarılması, işlenmesi ve üretimi), A2 (hammaddelerin fabrikaya nakliyesi ve tesis içindeki nakliye) ve A3 (üretim operasyonları) modüllerini içermektedir. Bunlar ayrı ayrı beyan edilmiştir.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD): Sonuçlar

SİSTEM SINIRLARININ TANIMLANMASI (X = YDD'ye dahil edildi; MND = Modül Beyan edilmedi)

ÜRÜN AŞAMASI			İNŞAAT AŞAMASI		KULLANIM AŞAMASI							YAŞAM SONU AŞAMASI				SİSTEM SINIRLARI DIŞINDAKİ FAYDALAR ve YÜKLER
Ham Madde Temini	Nakliye	Üretim	Sahaya Nakliyesi	Montajı	Kullanım	Bakım	Onarım	Yenileme[1)]	Yenileştirme[1)]	Operasyonel Enerji Kullanımı	Operasyonel Su Kullanımı	Yıkım – Söküm	Nakliye	Atığın İşlenmesi	Atığın Bertarafı	Tekrar Kullanım- Geri Kazanım- Geri Dönüşüm-potansiyeli
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND

YDD SONUÇLARI – ÇEVRESEL ETKİLER: Gazbeton Bloklar / 1m3

Parametre	Birim	A1	A2	A3
Küresel Isınma Potansiyeli	[kg CO_2-eşd.]	1,25E+2	4,72E+0	3,74E+1
Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli	[kg CFC11-eşd.]	5,34E-6	3,28E-7	4,25E-7
Toprak ve Suyun Asidifikasyon Potansiyeli	[kg SO_2-eşd.]	3,23E-1	2,19E-2	1,40E-1
Ötrofikasyon Potansiyeli	[kg $(PO_4)^{3-}$-eşd.]	5,20E-2	4,97E-3	3,48E-2
Troposferik Fotokimyasal Oksidasyon Oluşma Potansiyeli	[kg eten-eşd.]	2,86E-2	7,08E-4	6,59E-3
Fosil Olmayan Kaynakların Tüketimi Potansiyeli	[kg Sb-eşd.]	5,90E-5	1,08E-5	4,00E-6
Fosil Kaynakların Tüketimi Potansiyeli	[MJ]	4,17E+2	6,95E+1	4,48E+2

YDD SONUÇLARI – KAYNAK TÜKETİMİ: Gazbeton Bloklar / 1m3

Parametre	Birim	A1	A2	A3
Yenilenebilir Birincil Enerji Tüketimi (Hammadde kaynağı olarak kullanılmayan)	[MJ]	1,21E+1	0,00E+0	0,00E+0
Yenilenebilir Birincil Enerji Tüketimi (Hammadde kaynağı olarak kullanılan)	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Toplam Yenilenebilir Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi	[MJ]	1,21E+1	0,00E+0	0,00E+0
Yenilenemeyen Birincil Enerji Tüketimi (Hammadde kaynağı olarak kullanılmayan)	[MJ]	7,90E+2	7,55E+1	4,65E+2
Yenilenemeyen Birincil Enerji Tüketimi (Hammadde kaynağı olarak kullanılan)	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Toplam Yenilenemeyen Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi	[MJ]	7,90E+2	7,55E+1	4,65E+2
İkincil Malzeme Tüketimi	[kg]	-	-	-
İkincil Yenilenebilir Yakıt Tüketimi	[MJ]	-	-	-
İkincil Yenilenemeyen Yakıt Tüketimi	[MJ]	-	-	-
Net Tatlı Su Tüketimi	[m^3]	4,18E-2	1,61E-3	4,42E-1

YDD SONUÇLARI – ÇIKTILAR VE ATIK KATEGORİLERİ: Gazbeton Bloklar / 1m3

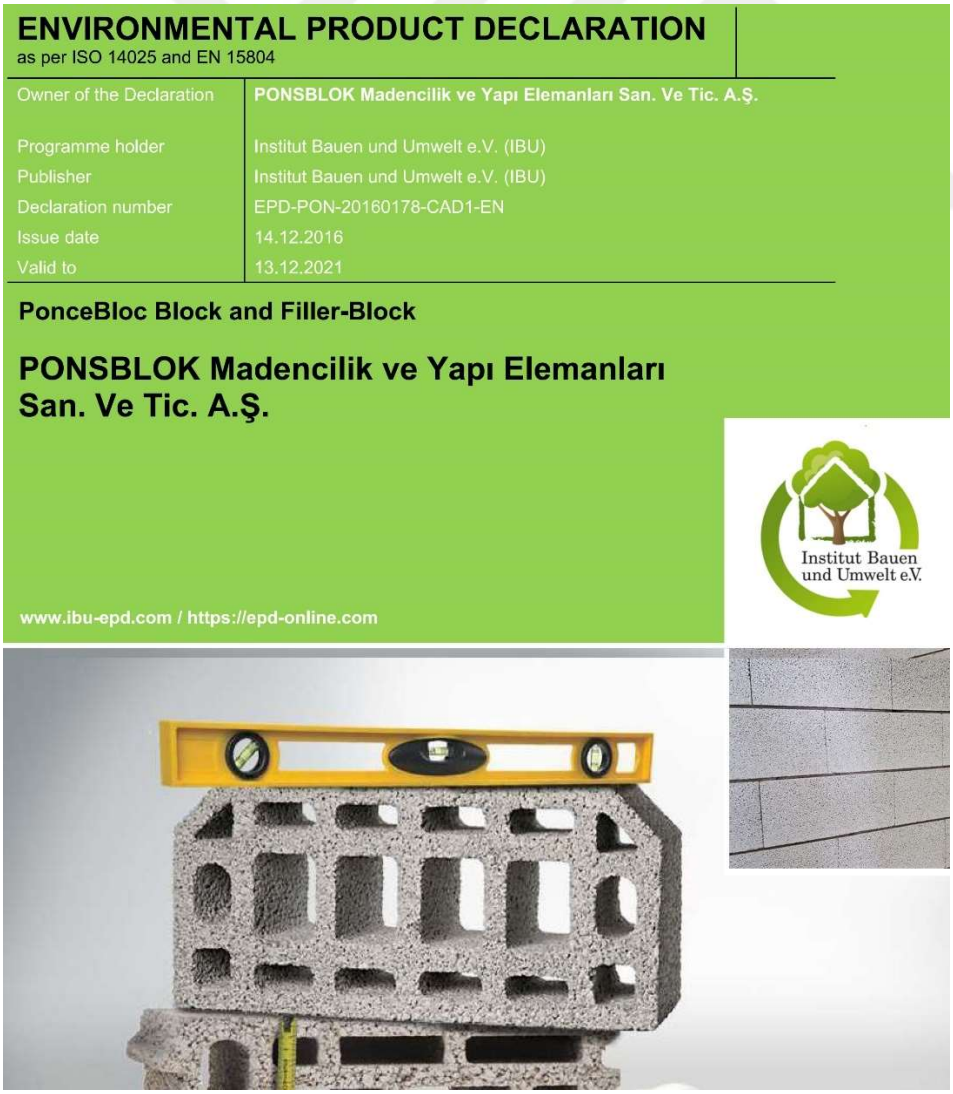
Parametre	Birim	A1	A2	A3
Bertaraf edilen Tehlikeli Atıklar	[kg]	-	-	1,21E-1
Bertaraf edilen Tehlikesiz Atıklar	[kg]	-	-	4,88E-1
Bertaraf edilen Radyoaktif Atıklar	[kg]	-	-	-
Tekrar Kullanılan Komponentler	[kg]	-	-	-
Geri Dönüşüm Malzemeleri	[kg]	-	-	-
Enerji Geri Kazanımı için Kullanılan Malzemeler	[kg]	-	-	-
İhraç Edilen Elektrik Enerjisi	[MJ]	-	-	-
İhraç Edilen Termal Enerji	[MJ]	-	-	-

400kg/m³ yoğunluklu 15cm'lik Gazbeton Blok için hesaplar

EPD Yoğunluğu	398	kg/m³
Kullanılan Malzeme Yoğunluğu	400	kg/m³

	EPD değerleri	Malzeme değerleri	Birimi
Global Warming Potential (GWP)	1.67E+02	1.68E+02	kg CO_2-Eq
Ozone Depletion Potential (ODP)	6.09E-06	6.12E-06	kg CFC-11-Eq
Acidification Potential (AP)	4.85E-01	4.87E-01	kg SO_2-Eq
Eutrophication Potential (EP)	9.18E-02	9.22E-02	kg $(PO_4)^3$-Eq
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	3.59E-02	3.61E-02	kg C_2H_4-Eq (ethylene-eq)
Abiotic Depletion Potential / Fossil Fuel Depletion (ADP)	9.35E+02	9.39E+02	MJ

8.1.2.4. Bims Blok Malzemesi İçin Seçilen EPD Hakkında Bilgiler Ve Archicad'e Girilmesi İçin Uyarlanan Veriler



Declared Unit
The declared unit for the EPD is 1m³ of PonceBloc block and filler-block leaving the factory gate.
This declaration is classified as an average product as calculated from one plant of one manufacturer according to section 1c in PCR Part A: Calculation Rules for the Life Cycle Assessment and Requirements on the Project Report (version 1.4, 18.03.2016).

It is prepared as a weighted average EPD for the PonceBloc block and filler-block product group based on annual production figure (93% Block, 7% Filler-Block).

Declared unit

Name	Value	Unit
Declared unit	1	m³
Density (Weighted average value in 2015)	360.41	kg/m³
Conversion factor to 1 kg	0.002775	-

System boundary
Type of EPD: cradle-to-gate

The system boundary covers the stages from extraction of raw material to the production of finished packaged product at the factory gate.

The life cycle impact assessment results are disclosed separately for A1 (Extraction, processing, production of raw materials), A2 Transport to the manufacturer and internal transport) and A3 (Manufacturing).

Background data
Background datasets were taken from Ecoinvent database (version3.01) within SimaPro software.

Comparability
Basically, a comparison or an evaluation of EPD data is only possible if all the data sets to be compared were created according to /EN 15804/ and the building context, respectively the product-specific characteristics of performance, are taken into account. The used background database has to be mentioned.

Further information
For further information, please contact PONSBLOK Madencilik ve Yapı Elemanları San. Ve Tic. A.Ş. through its website at http://www.poncebloc.com.tr/

LCA: Results

The results are presented according to the impact categories defined in /EN 15804/. These impact categories include environmental impacts, use of resources and waste disposal.

The impact estimate results are relative expressions and do not predict impacts on category endpoints or the transgression of thresholds, safety margins or risks.

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X = INCLUDED IN LCA; MND = MODULE NOT DECLARED)

PRODUCT STAGE			CONSTRUCTION PROCESS STAGE		USE STAGE							END OF LIFE STAGE				BENEFITS AND LOADS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARIES
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport from the gate to the site	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-potential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT: Block and Filler-Block/1m3

Parameter	Unit	A1	A2	A3
Global warming potential	[kg CO_2-Eq.]	8.24E+1	4.06E+0	3.86E+0
Depletion potential of the stratospheric ozone layer	[kg CFC11-Eq.]	3.95E-6	2.79E-7	9.37E-8
Acidification potential of land and water	[kg SO_2-Eq.]	2.14E-1	1.73E-2	2.25E-2
Eutrophication potential	[kg $(PO_4)^{3-}$-Eq.]	2.77E-2	4.81E-3	1.26E-2
Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants	[kg ethene-Eq.]	1.61E-2	6.14E-4	9.06E-4
Abiotic depletion potential for non-fossil resources	[kg Sb-Eq.]	1.05E-5	1.20E-5	7.70E-7
Abiotic depletion potential for fossil resources	[MJ]	9.70E+1	6.21E+1	5.73E+1

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE: Block and Filler-Block/1m3

Parameter	Unit	A1	A2	A3
Renewable primary energy as energy carrier	[MJ]	1.14E+1	0.00E+0	0.00E+0
Renewable primary energy resources as material utilization	[MJ]	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0
Total use of renewable primary energy resources	[MJ]	1.14E+1	0.00E+0	0.00E+0
Non-renewable primary energy as energy carrier	[MJ]	4.44E+2	6.68E+1	5.23E+1
Non-renewable primary energy as material utilization	[MJ]	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0
Total use of non-renewable primary energy resources	[MJ]	4.44E+2	6.68E+1	5.23E+1
Use of secondary material	[kg]	-	-	-
Use of renewable secondary fuels	[MJ]	-	-	-
Use of non-renewable secondary fuels	[MJ]	-	-	-
Use of net fresh water	[m³]	3.45E-2	1.37E-3	4.23E-2

RESULTS OF THE LCA – OUTPUT FLOWS AND WASTE CATEGORIES: Block and Filler-Block/1m3

Parameter	Unit	A1	A2	A3
Hazardous waste disposed	[kg]	1.75E-4	7.40E-5	3.31E-5
Non-hazardous waste disposed	[kg]	6.98E-1	4.65E+0	2.58E-1
Radioactive waste disposed	[kg]	1.51E-4	3.41E-4	5.44E-5
Components for re-use	[kg]	-	-	-
Materials for recycling	[kg]	-	-	-
Materials for energy recovery	[kg]	-	-	-
Exported electrical energy	[MJ]	-	-	-
Exported thermal energy	[MJ]	-	-	-

MND: Module Not Declared

450kg/m³ yoğunluklu 15cm'lik Bims Blok için hesaplar A1-A3

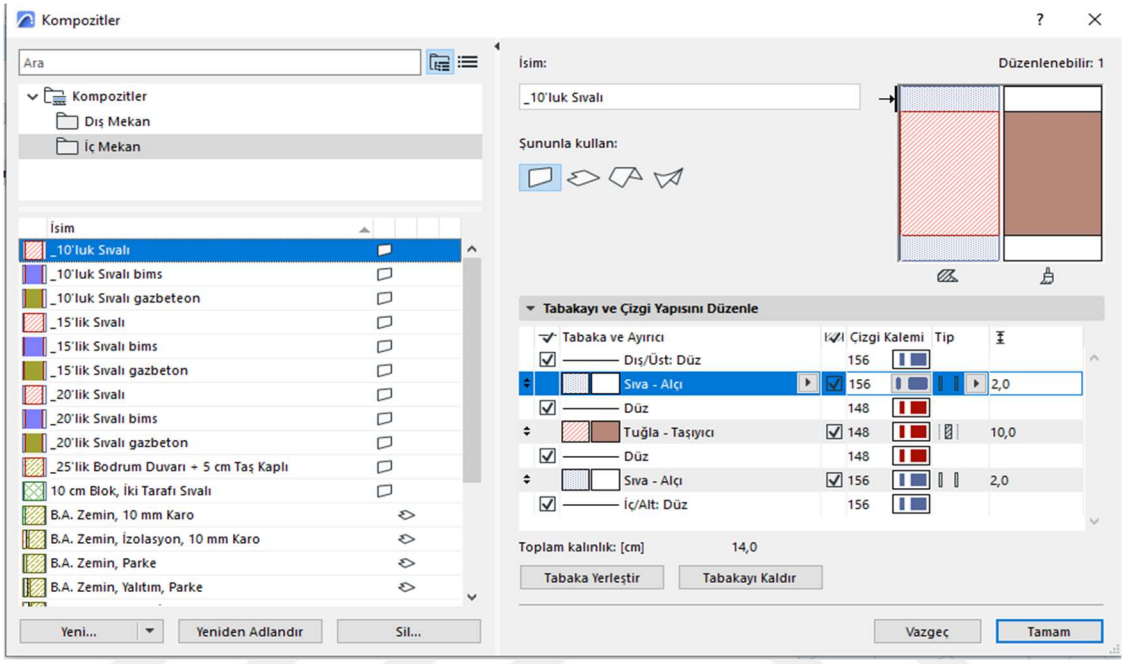
EPD Yoğunluğu	360.41	kg/m³
Kullanılan Malzeme Yoğunluğu	450	kg/m³

	EPD değerleri	Malzeme değerleri	Birimi
Global Warming Potential (GWP)	9.03E+01	1.13E+02	kg CO_2-Eq
Ozone Depletion Potential (ODP)	4.32E-06	5.40E-06	kg CFC-11-Eq
Acidification Potential (AP)	2.54E-01	3.17E-01	kg SO_2-Eq
Eutrophication Potential (EP)	4.51E-02	5.63E-02	kg $(PO_4)^3$-Eq
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	1.62E-02	2.03E-02	kg C_2H_4-Eq (ethylene-eq)
Abiotic Depletion Potential / Fossil Fuel Depletion (ADP)	2.16E+02	2.70E+02	MJ

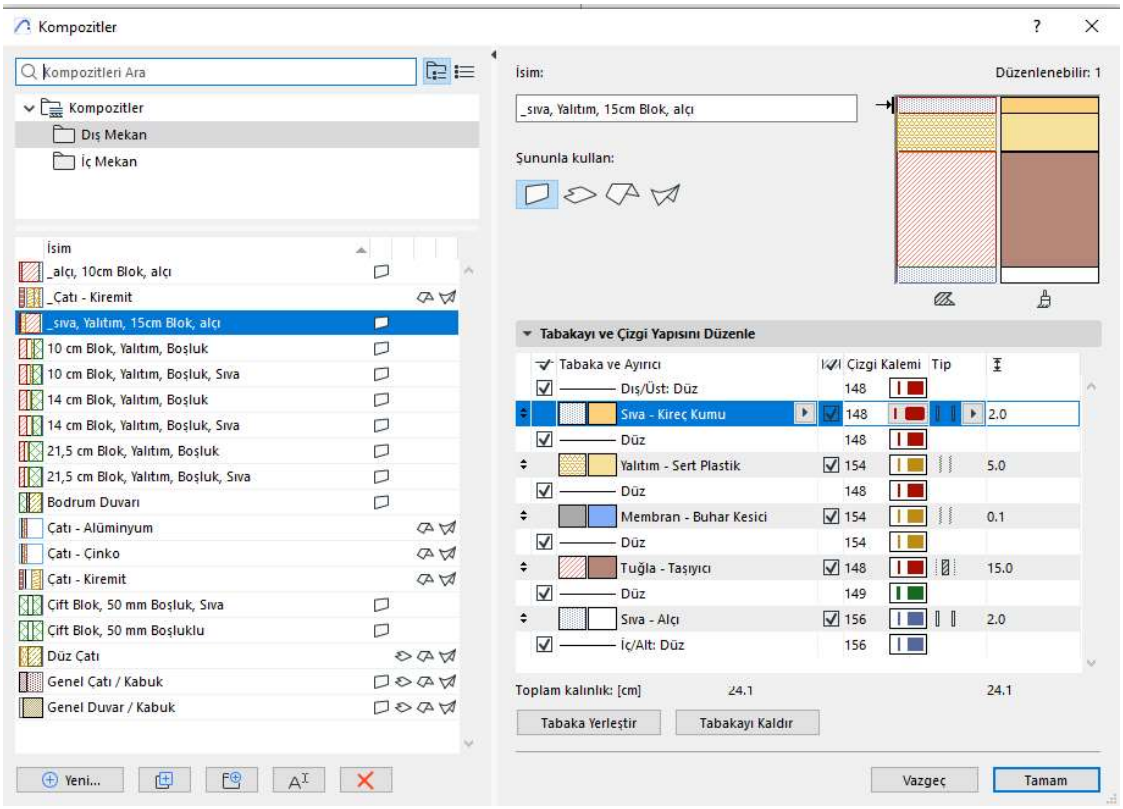
8.1.3. ArchiCAD Yazılımında Modellenen Duvarlar

8.1.3.1. Kil Tuğla Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri

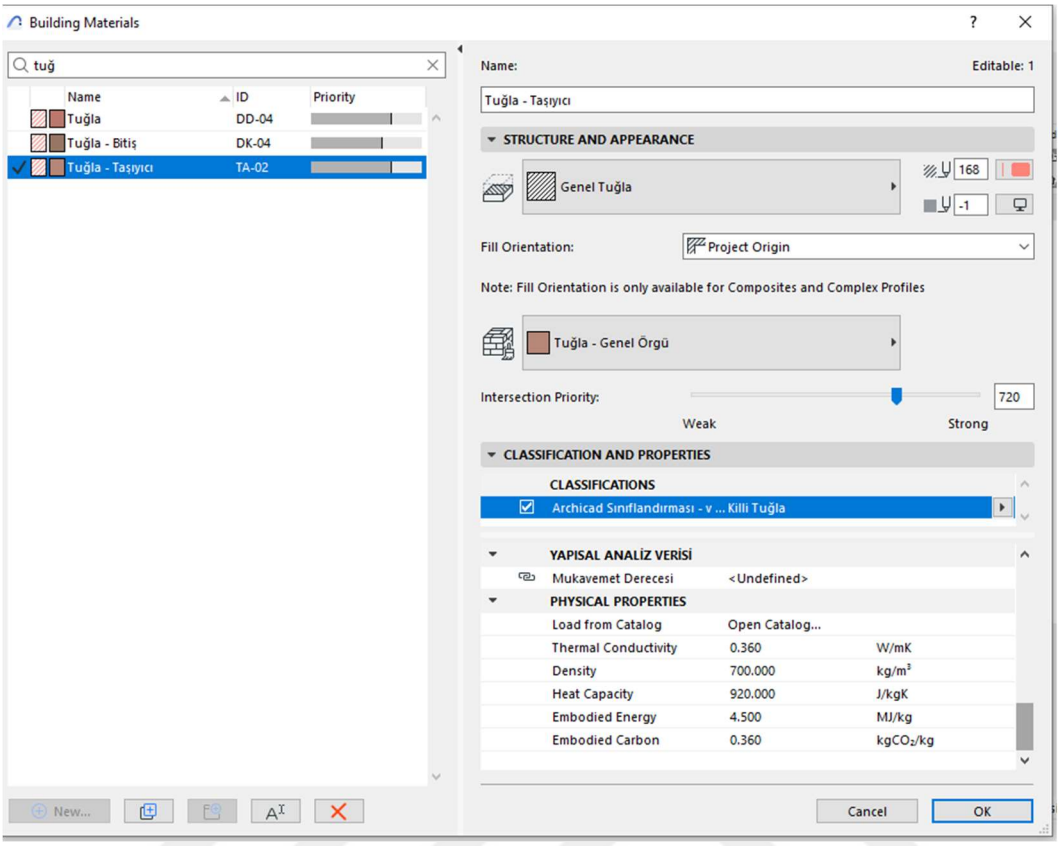
10'lık kil tuğla çekirdekli kompozit duvar (iç duvar bölme)



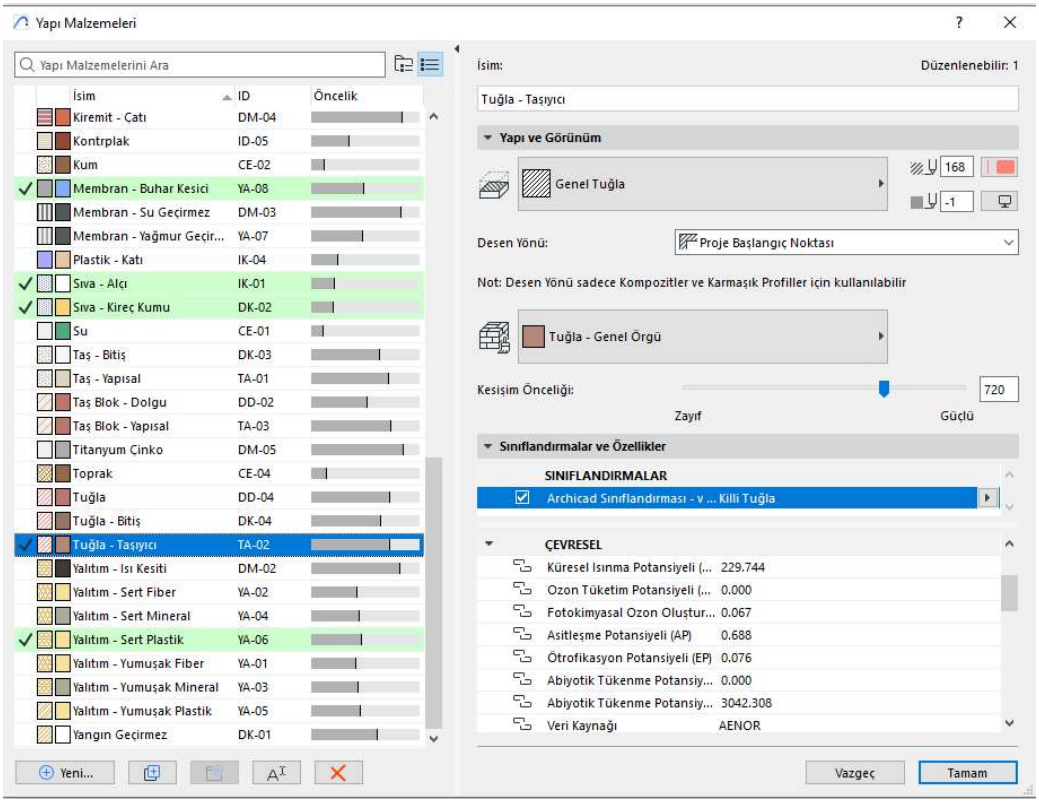
15'lık kil tuğla çekirdekli kompozit duvar (Dış duvar)



Kil Tuğla Duvar Çekirdeği Fiziksel Özellikleri

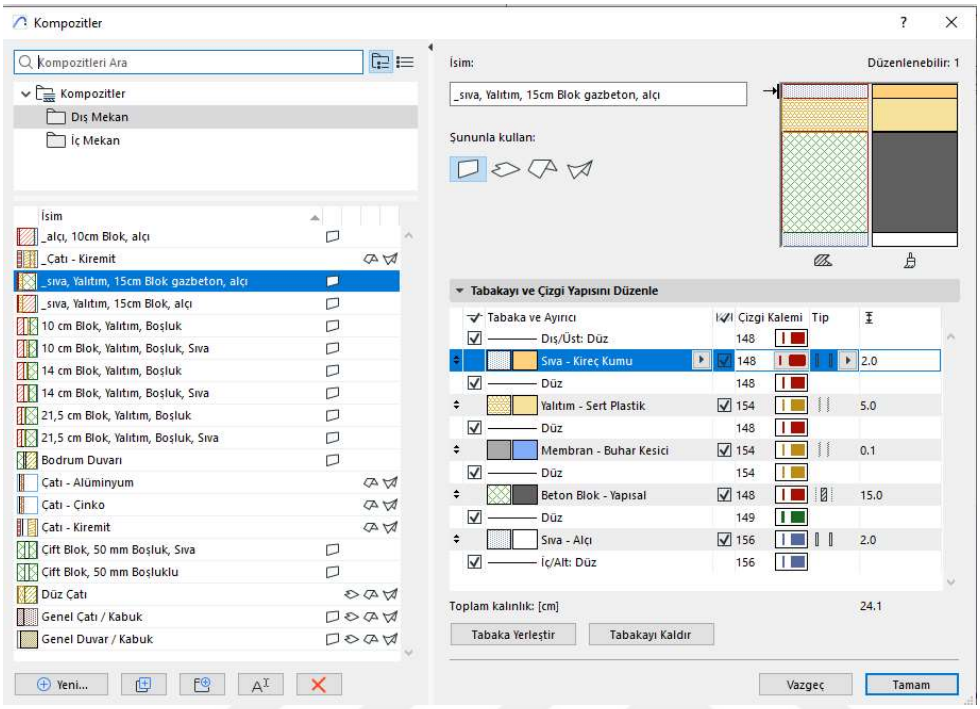


Kil Tuğla Duvar Çekirdeği Çevresel Özellikleri

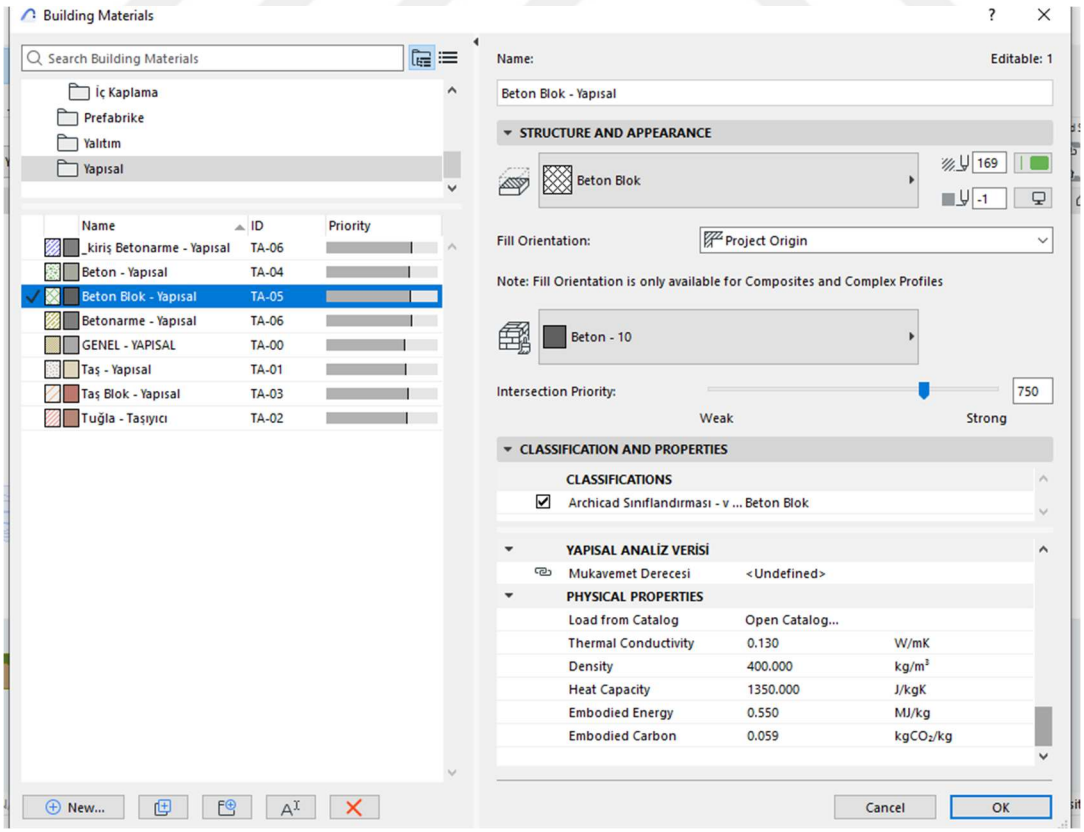


8.1.3.2. Gazbeton Blok Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri

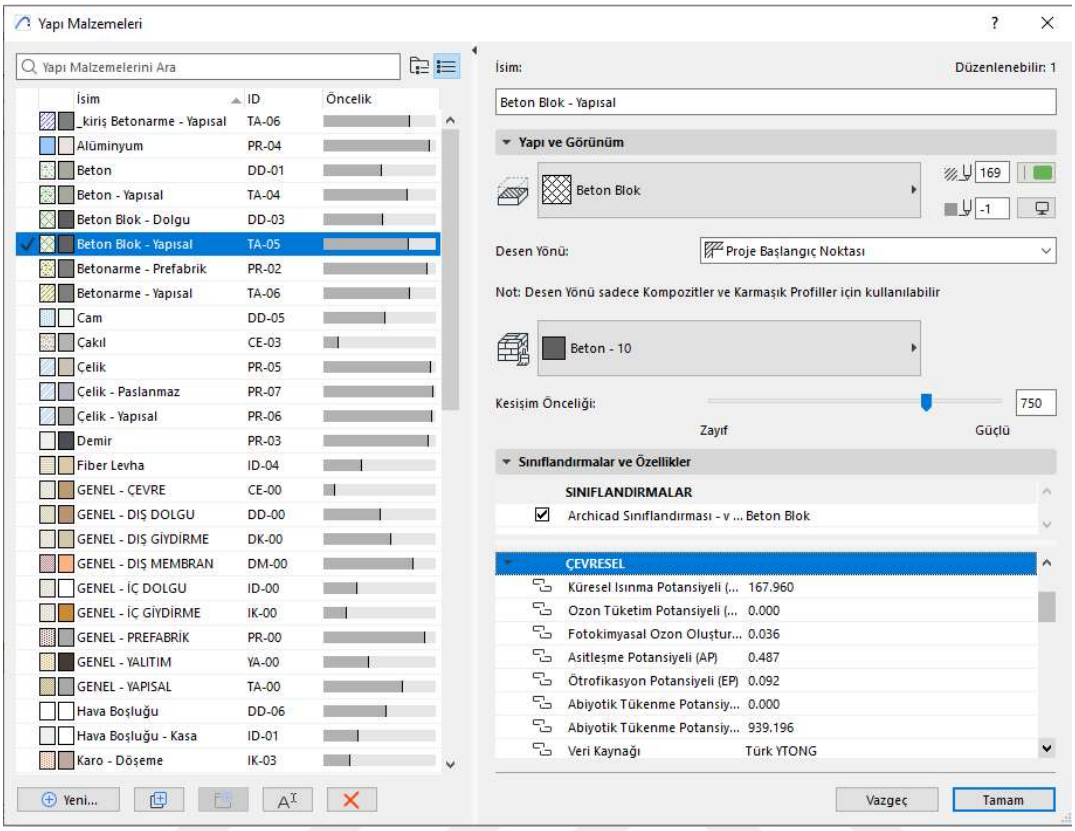
15'lık gazbeton bloklu çekirdekli kompozit duvar (Dış duvar)



Gazbeton Blok Duvar Çekirdeği Fiziksel Özellikleri

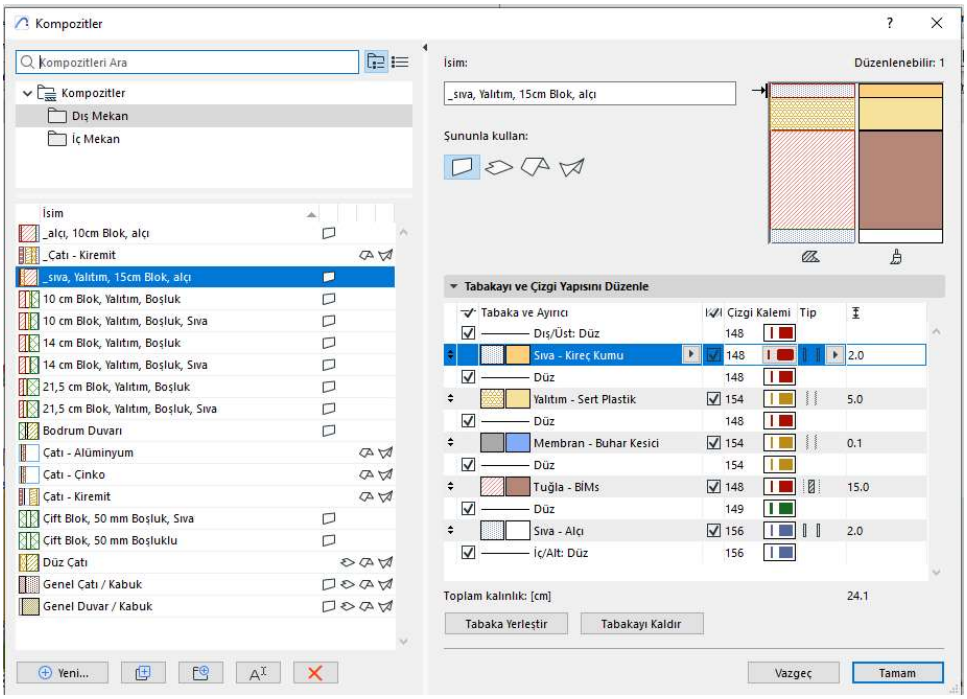


Gazbeton Blok Duvar Çekirdeği Çevresel Özellikleri

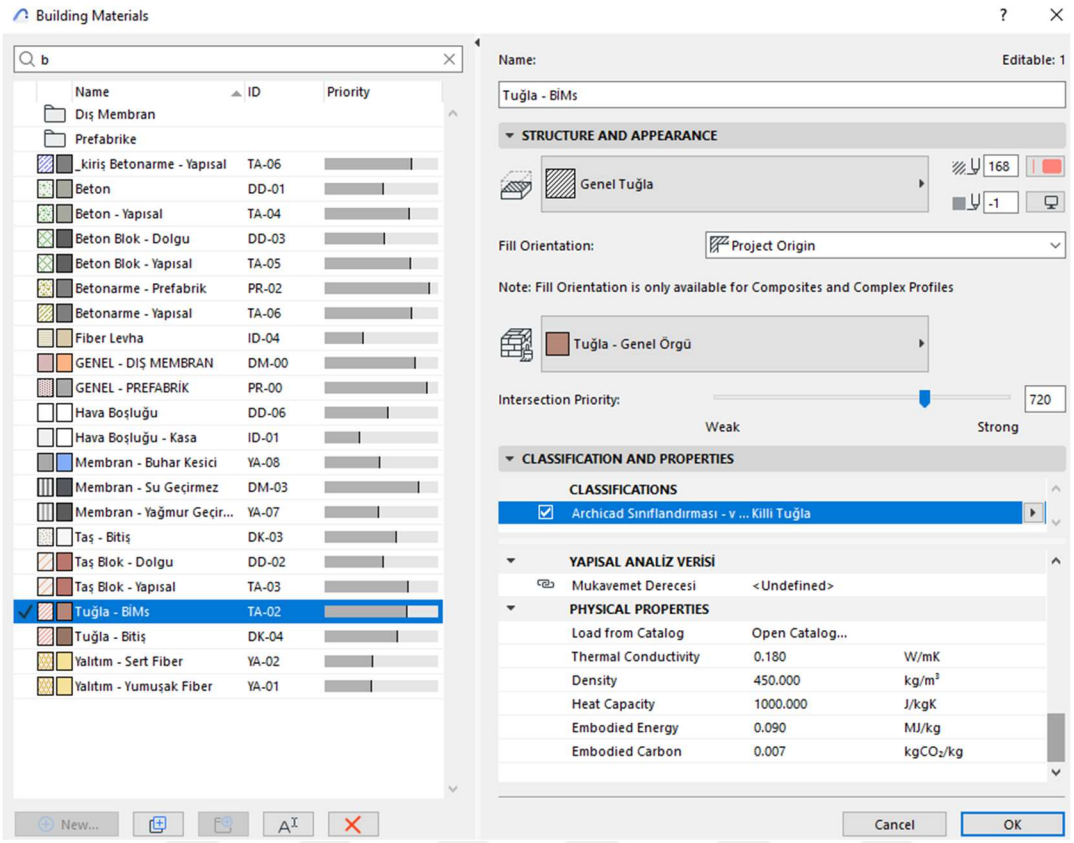


8.1.3.3. Bims Blok Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri

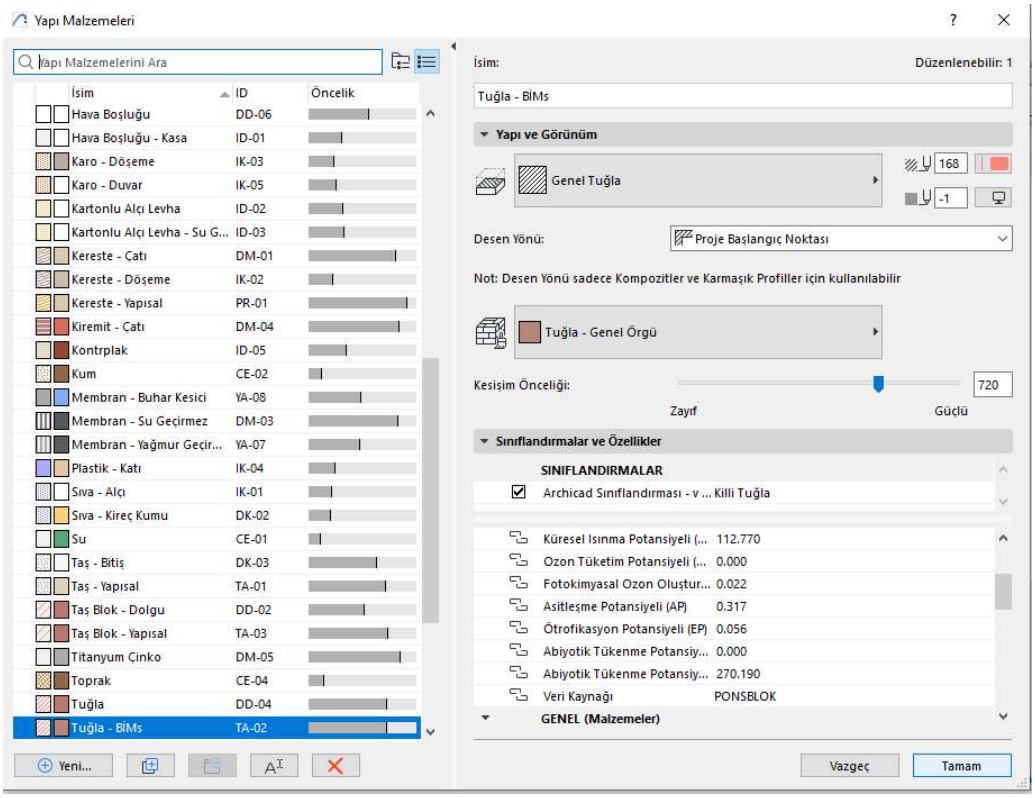
15'lık kil Bims çekirdekli kompozit duvar(Dış duvar)



Bims Blok Duvar Çekirdeği Fiziksel Özellikleri



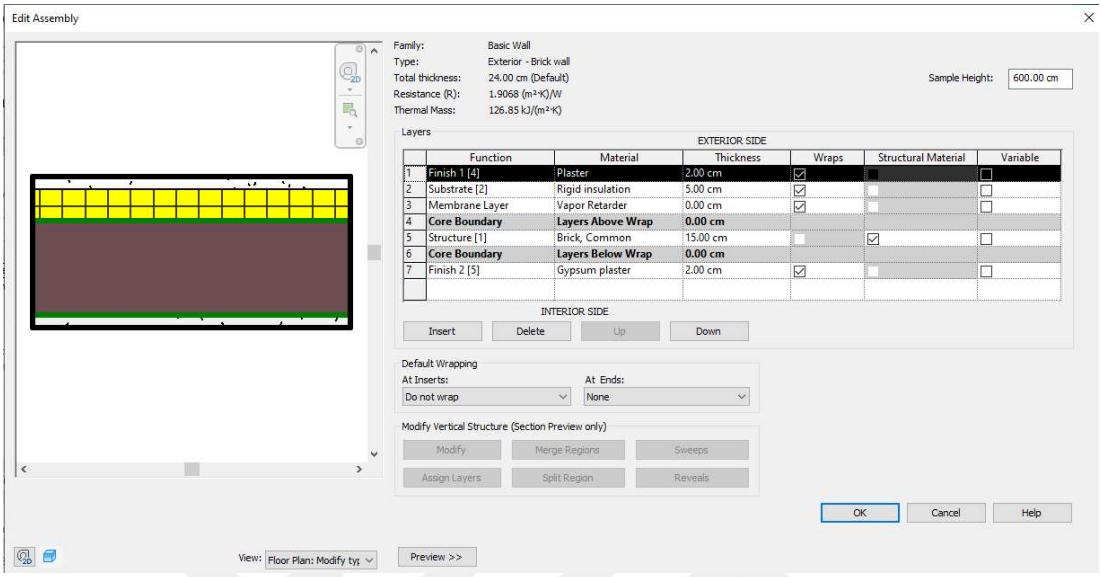
Bims Blok Duvar Çekirdeği Çevresel Özellikleri



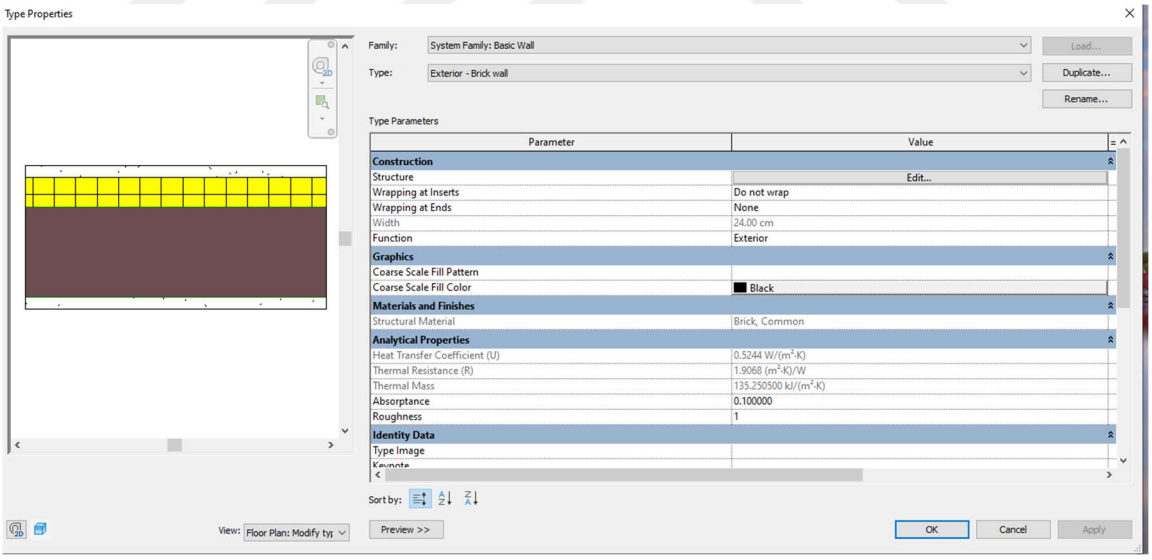
8.1.4. REVIT Yazılımında Modellenen Duvarlar

8.1.4.1. Kil Tuğla Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri

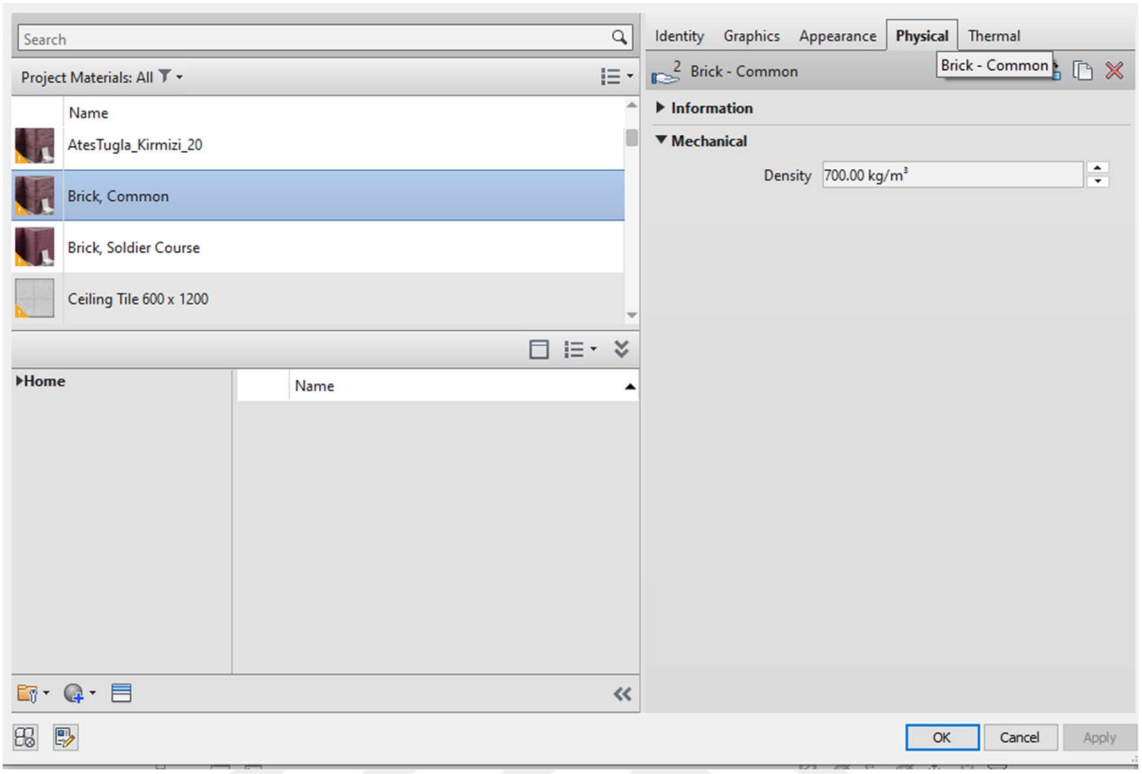
Kil Tuğladan Oluşan Kompozit Duvarın Katman Özellikleri



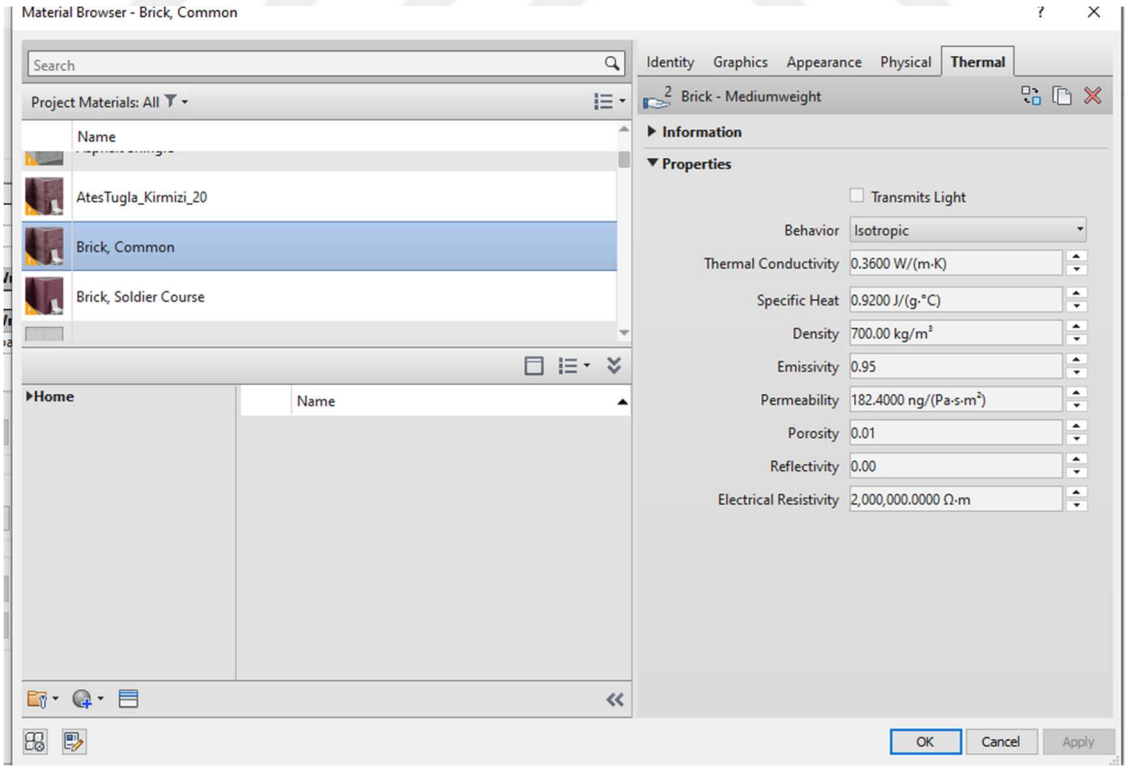
Kil Tuğladan Oluşan Kompozit Duvarın Analitik Özellikleri



Kil Tuğlanın Fiziksel Özellikleri

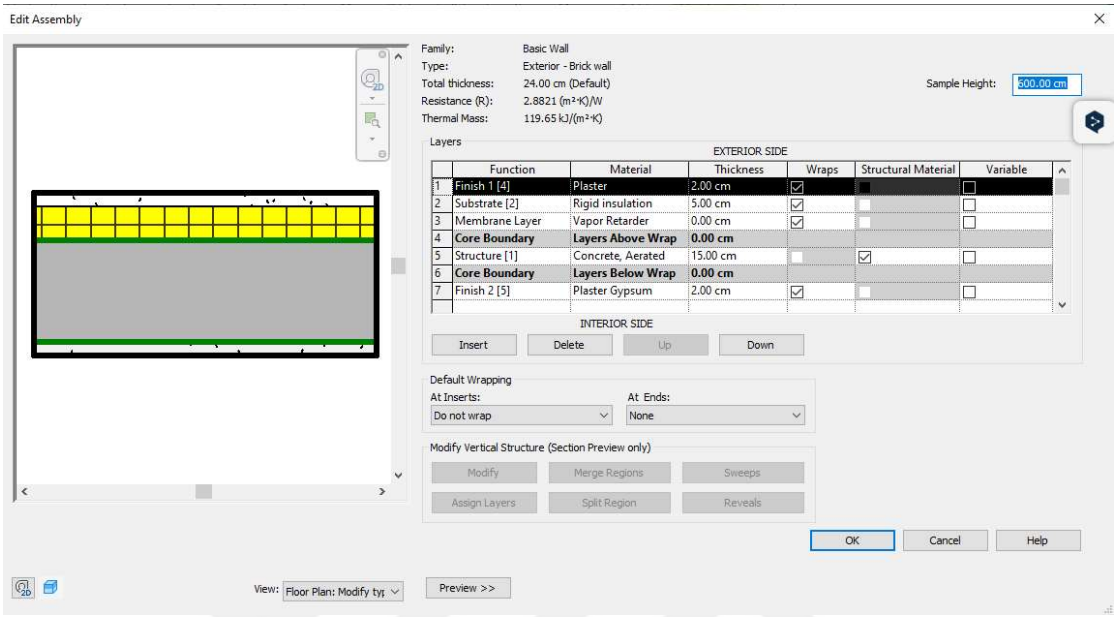


Kil Tuğlanın Termal Özellikleri

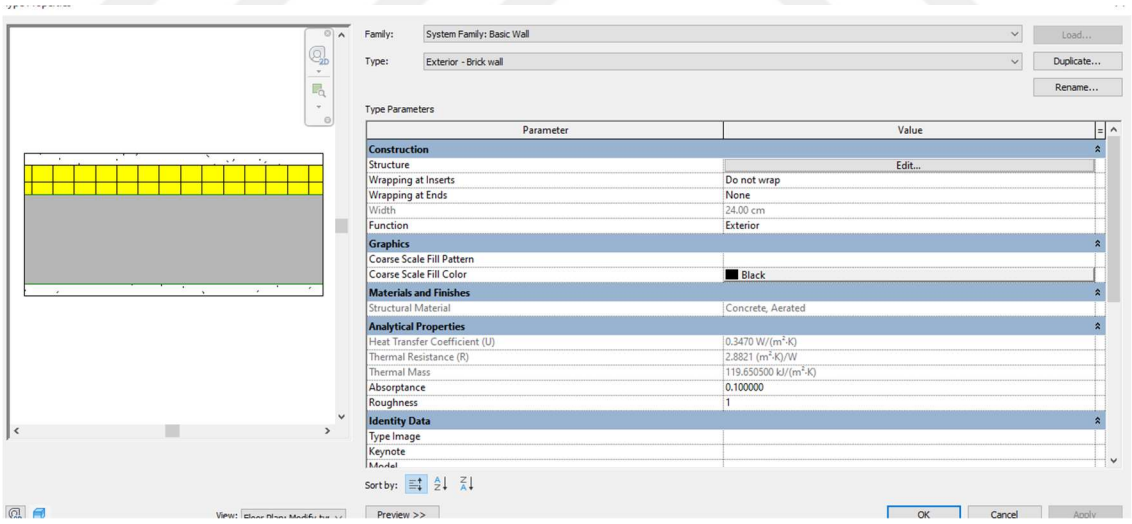


8.1.4.2. Gazbeton Blok Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri

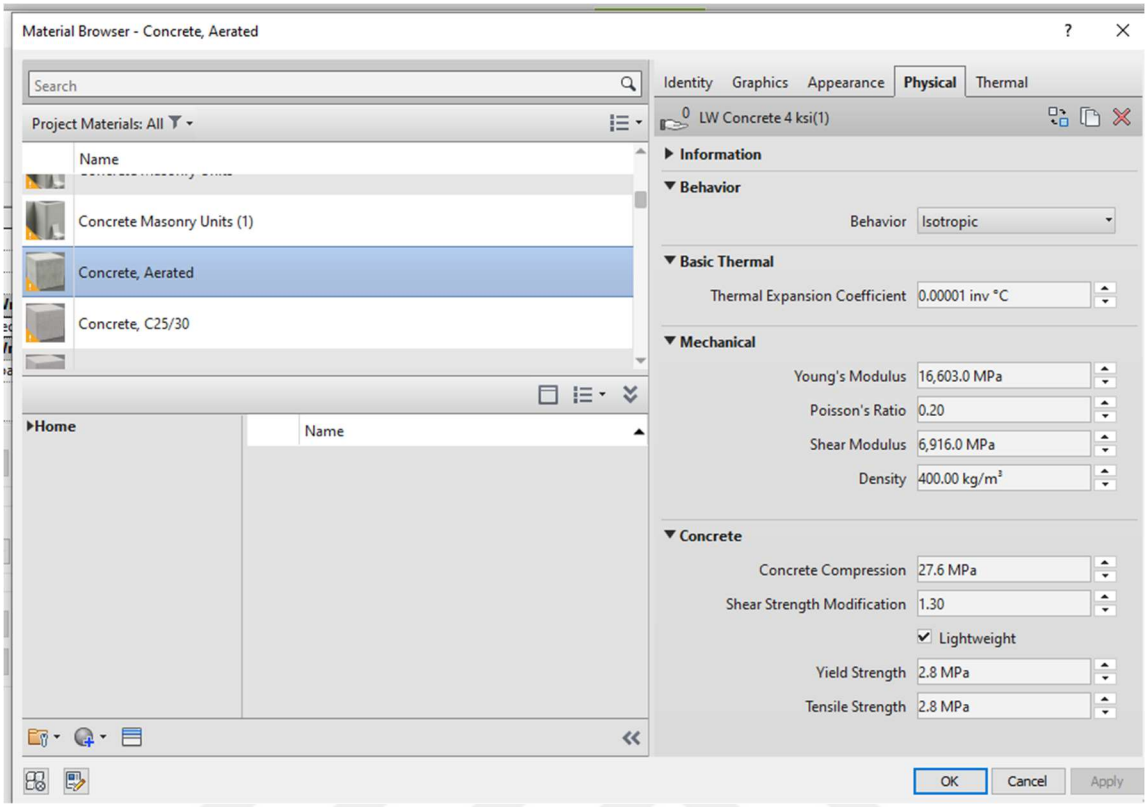
Gazbeton Bloktan Oluşan Kompozit Duvarın Katman Özellikleri



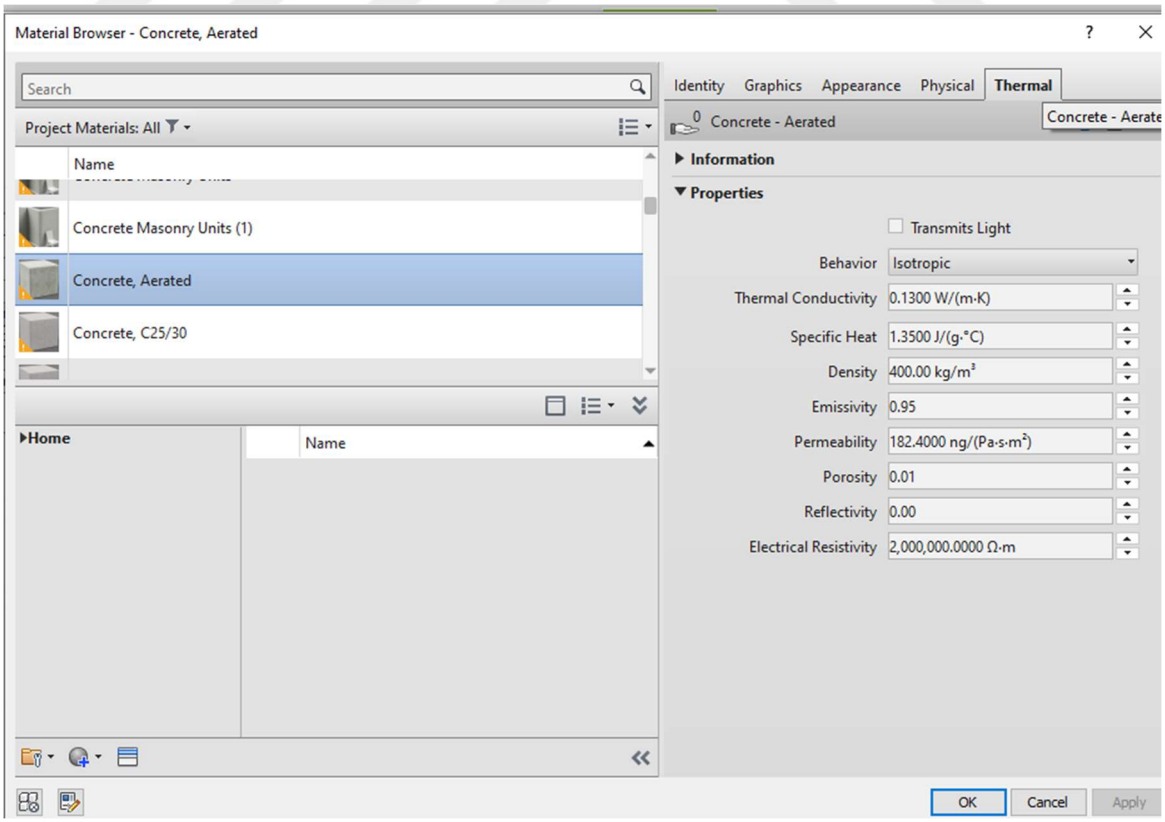
Gazbeton Bloktan Oluşan Kompozit Duvarın Analitik Özellikleri



Gazbeton Blokun Fiziksel Özellikleri

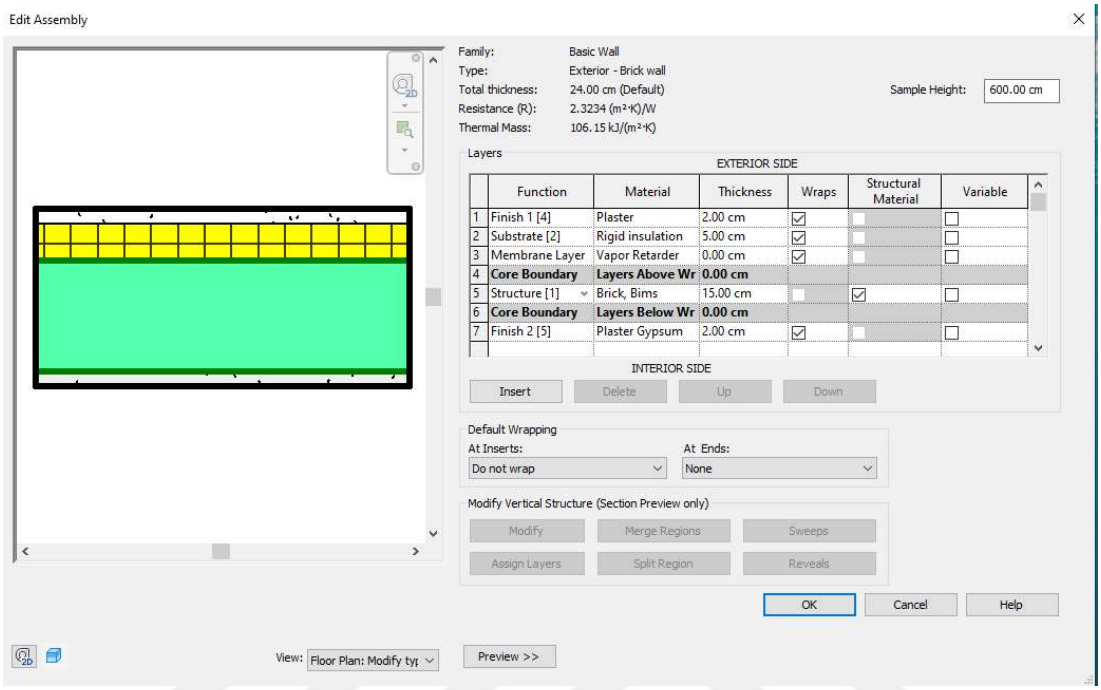


Gazbeton Blokun Termal Özellikleri

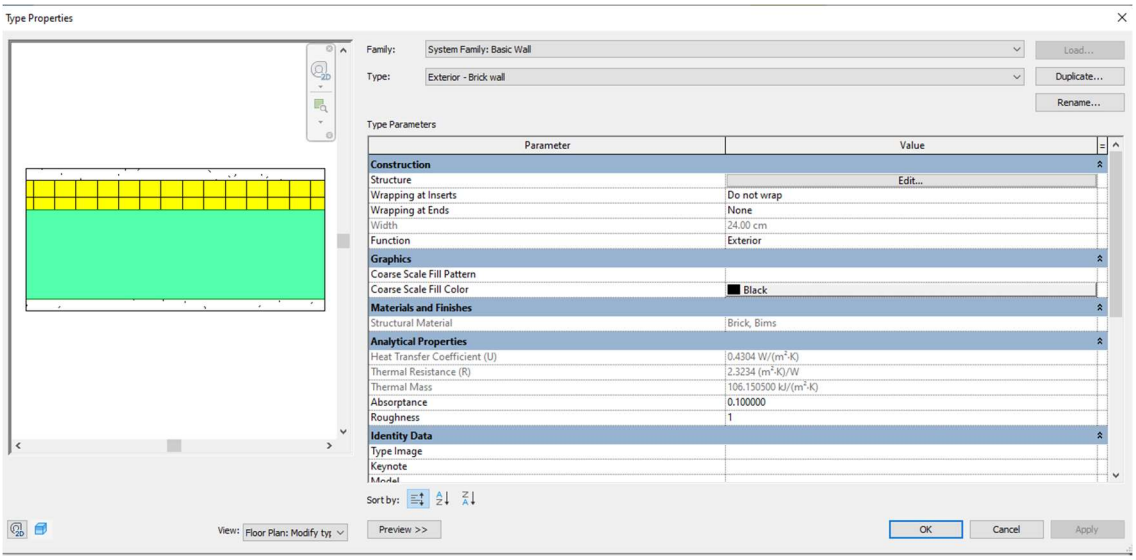


8.1.4.3. Bims Blok Çekirdekli Kompozit Duvarlar ve Özellikleri

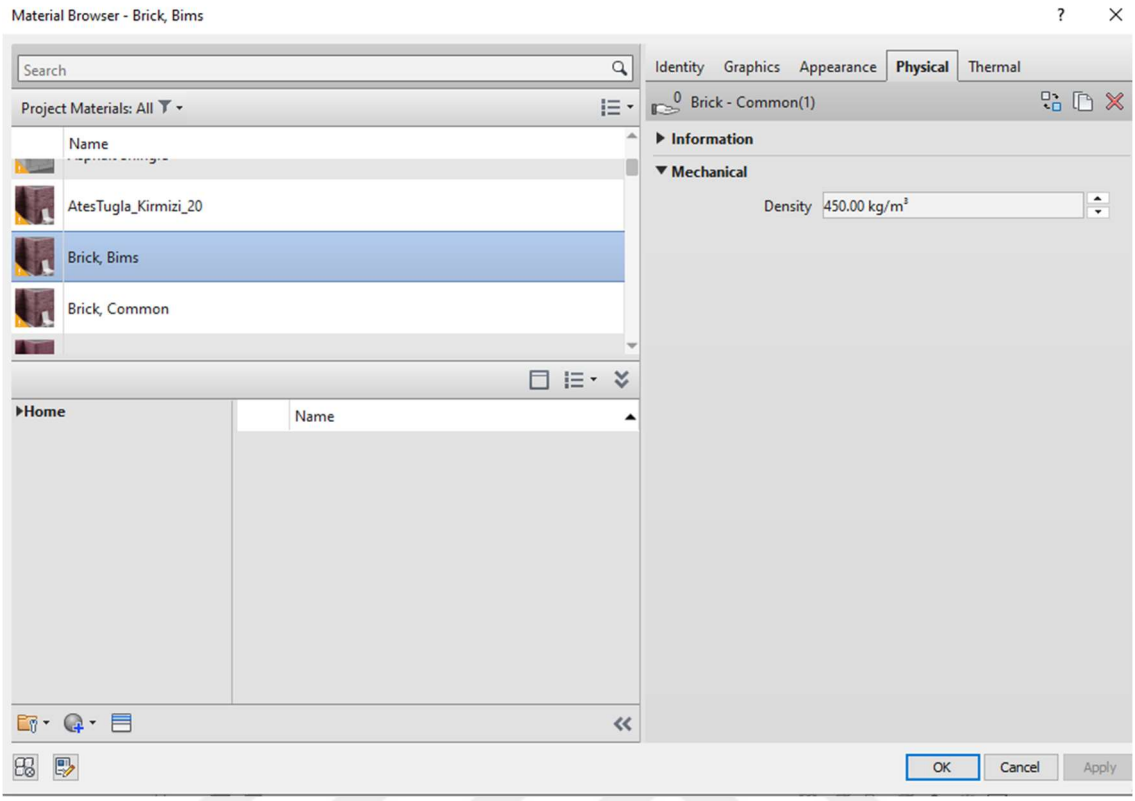
Bims Bloktan Oluşan Kompozit Duvarın Katman Özellikleri



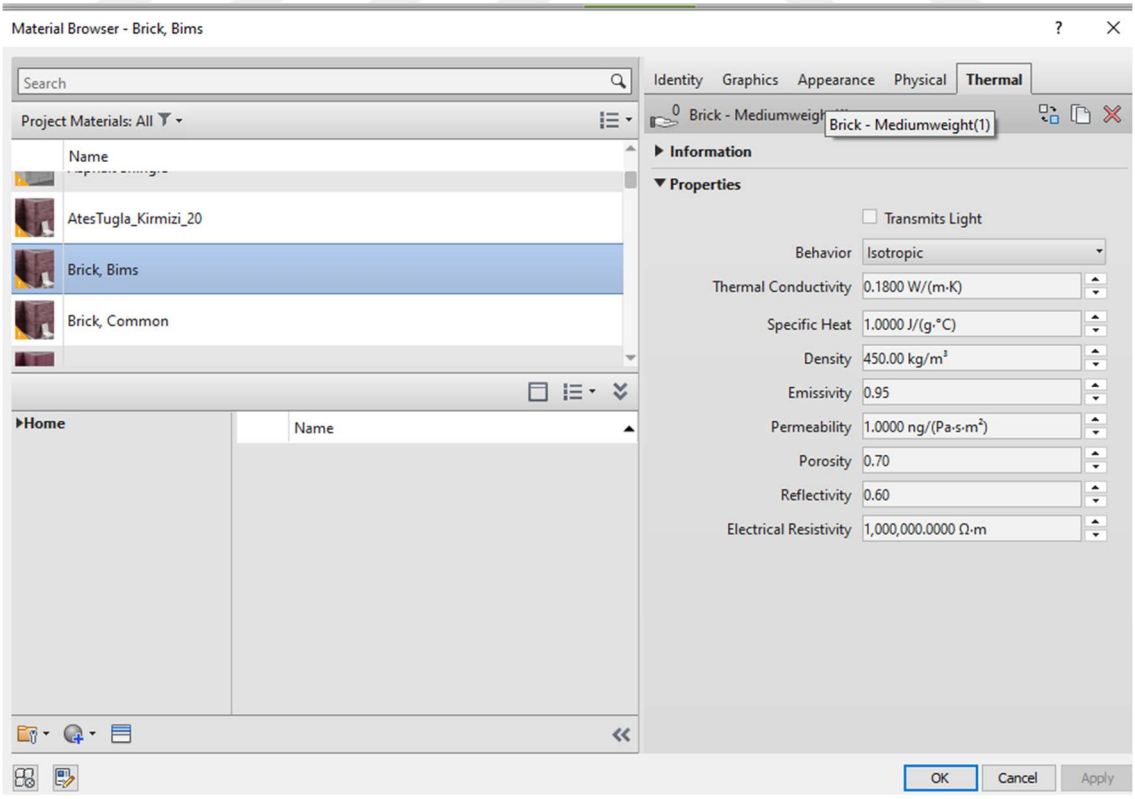
Bims Bloktan Oluşan Kompozit Duvarın Analitik Özellikleri



Bims Blokun Fiziksel Özellikleri



Bims Blokun Termal Özellikleri



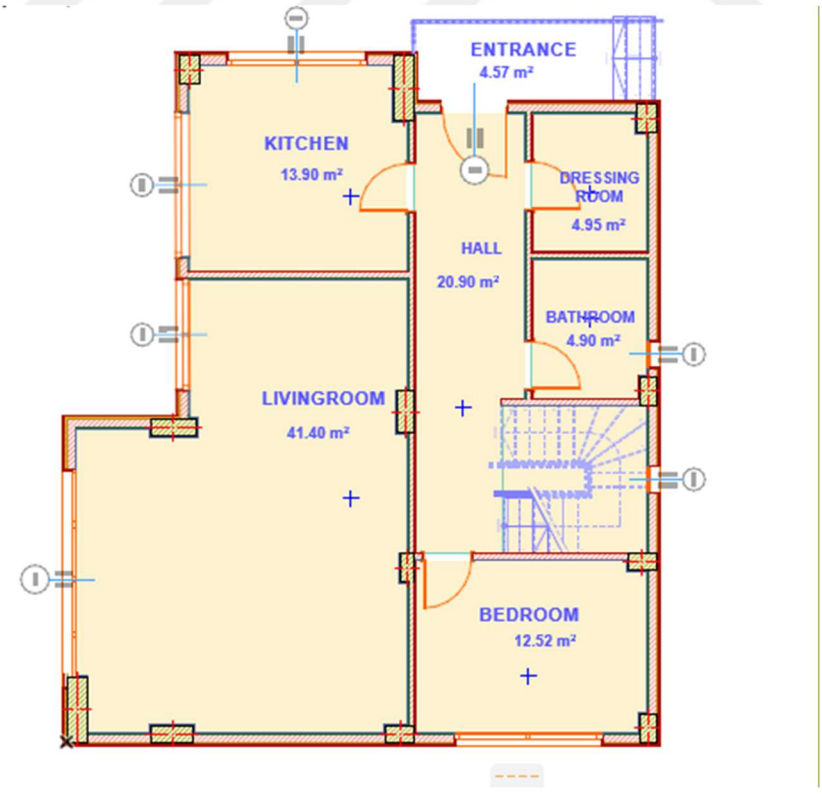
8.2. EK 2: ÖRNEK YAPININ MODELLENMESİ

8.2.1. ARCHICAD'de Modellenen Bina Modeli

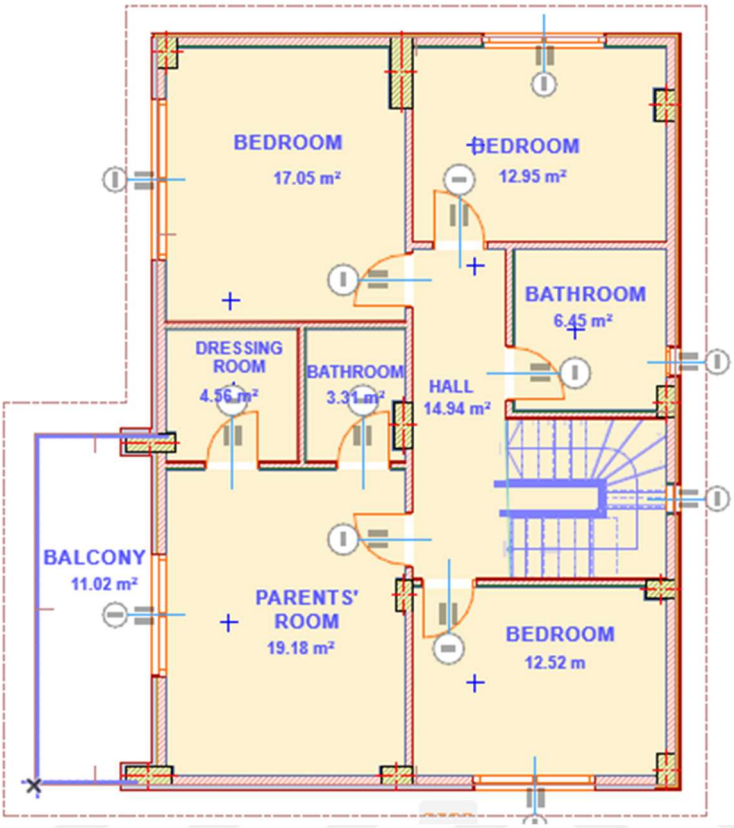
Giriş Cephesinden 3d Görünüş



ZEMİN KAT PLANI

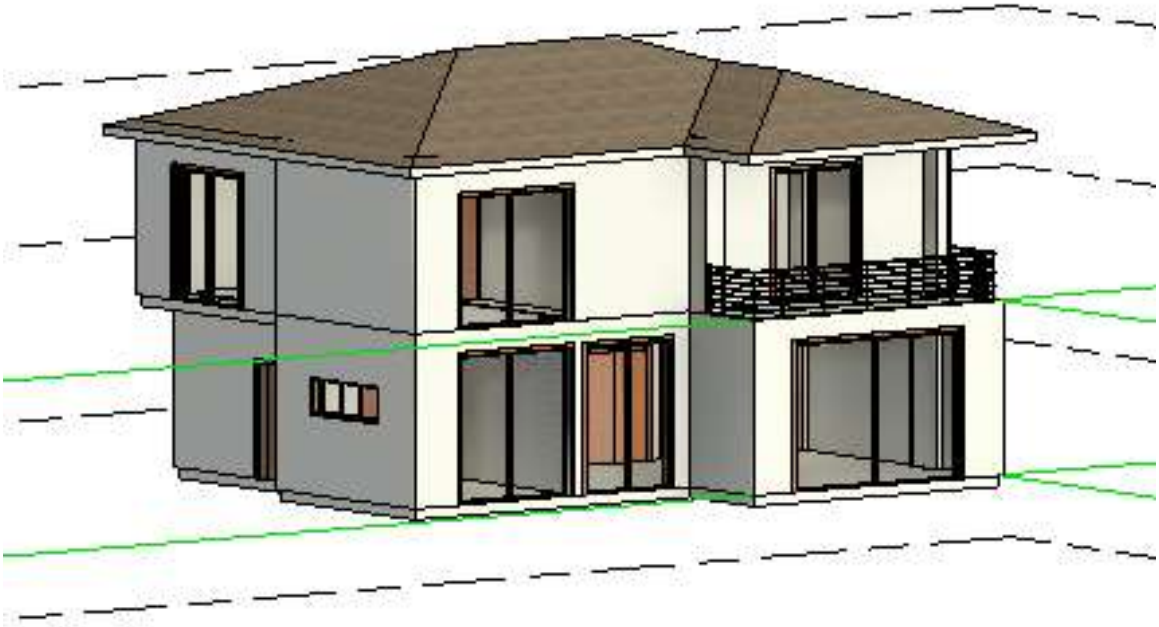


1.KAT PLANI

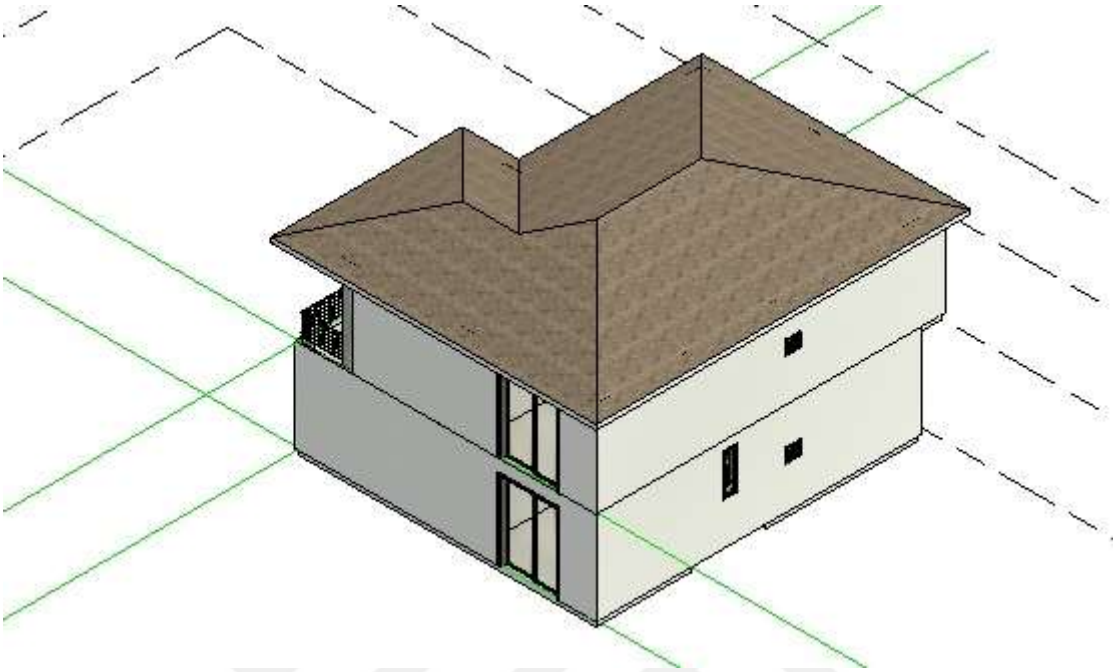


8.2.2. REVIT'te Modellenen Bina Modeli

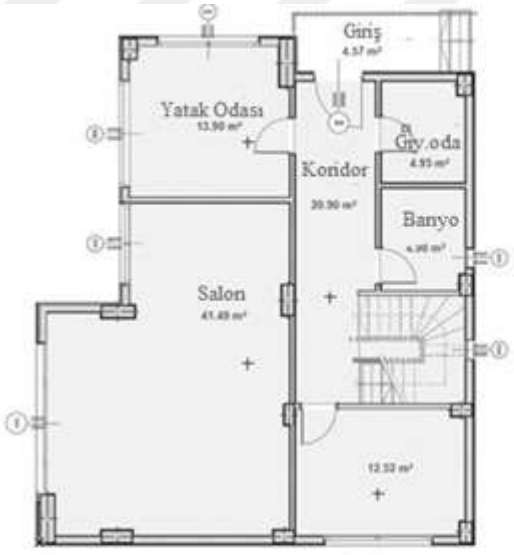
ÖN CEPHPEDEN PERSPEKTİF GÖRÜNÜŞÜ



ARKA CEPHPEDEN PERSPEKTİF GÖRÜNÜŞÜ

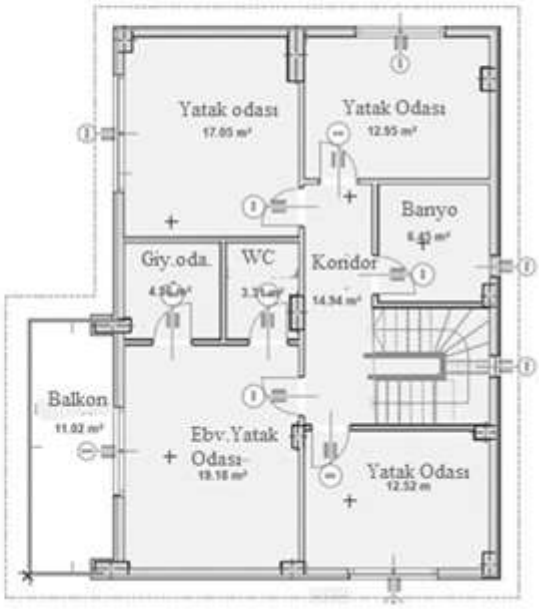


BİNANIN KAT PLANLARI



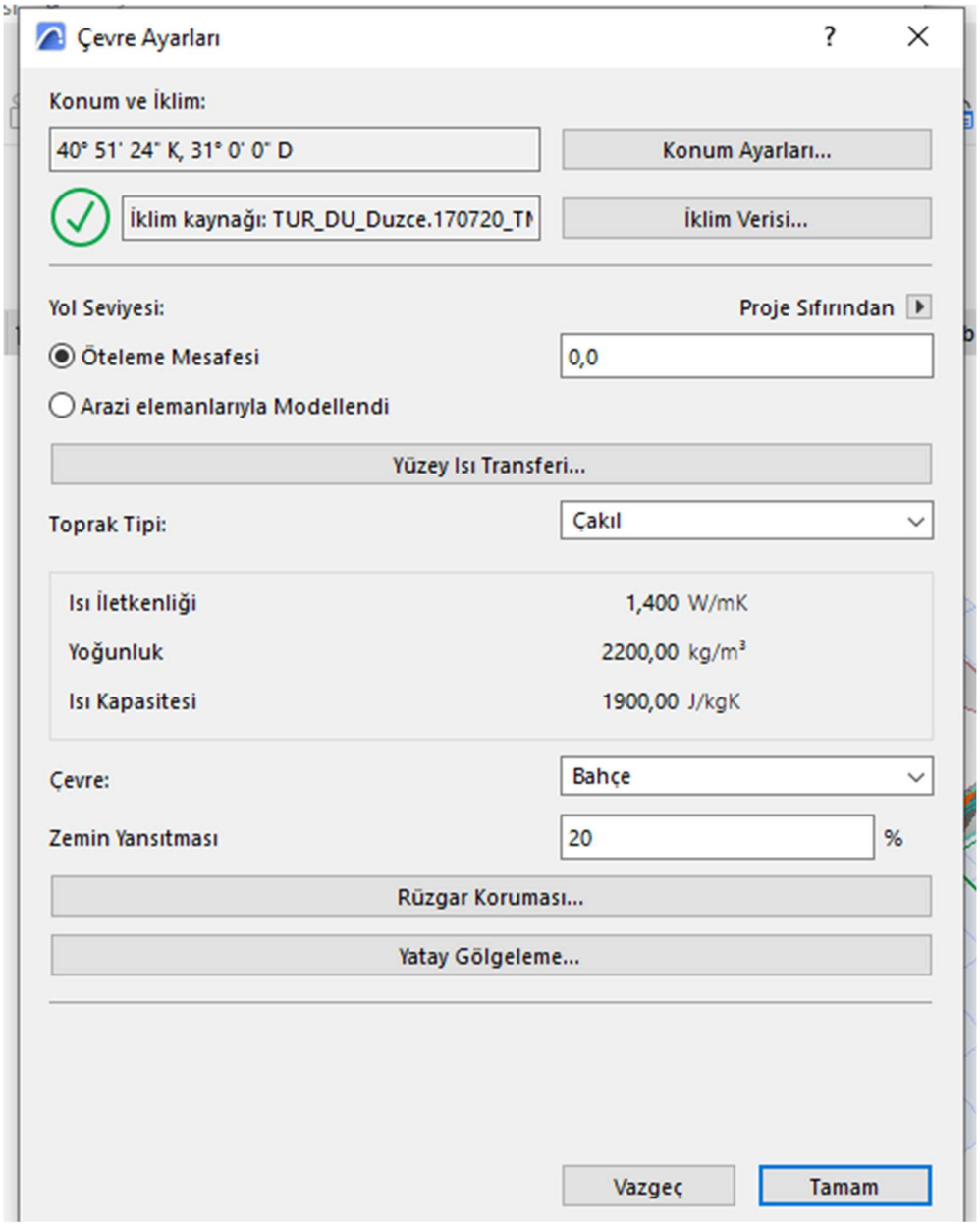
Zemin kat planı

1. Kat planı

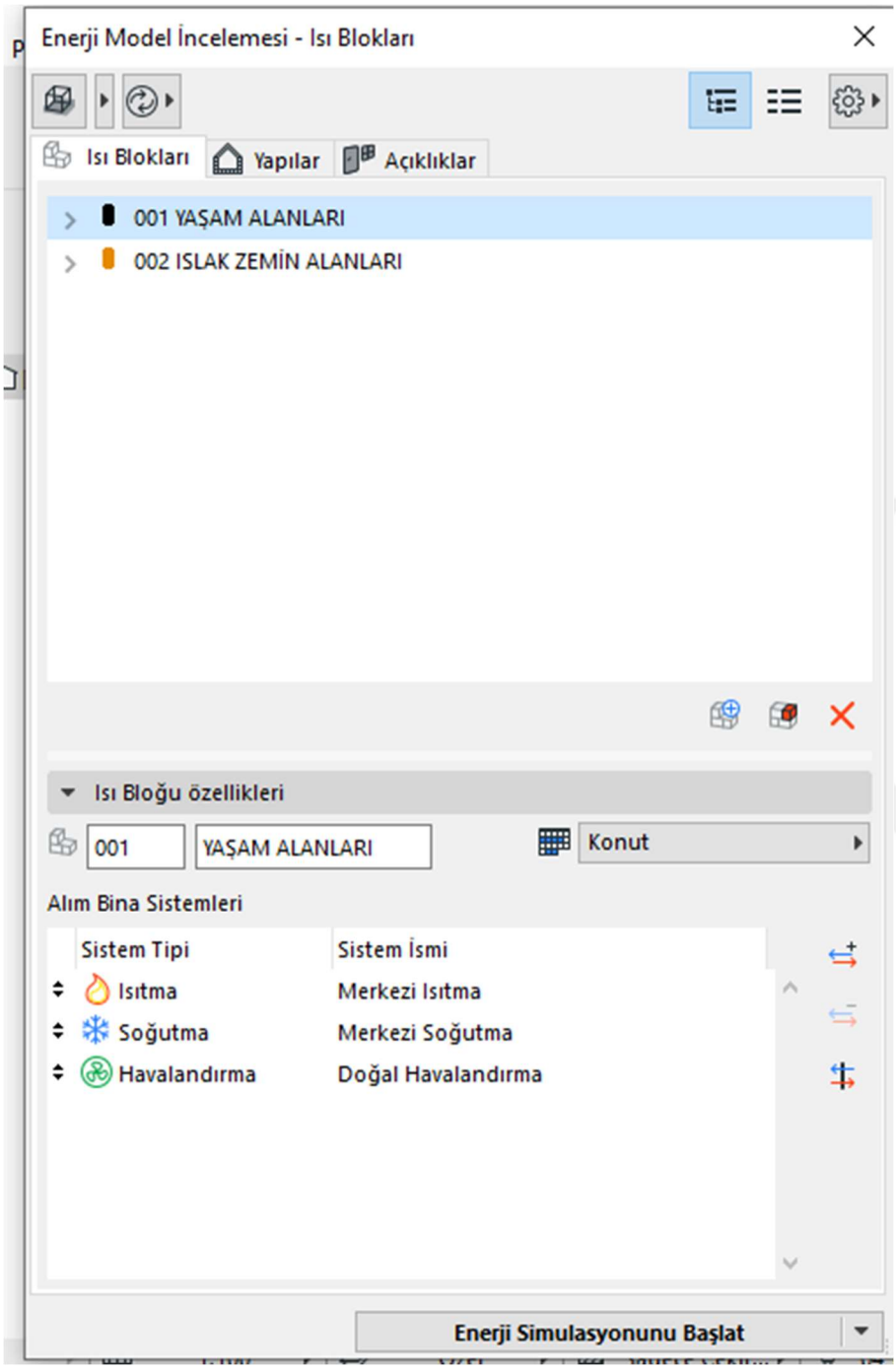


8.2.3. Archicad Yazılımının EcoDesigner Star Arayüzü ile Veri Girdisi Yapılması

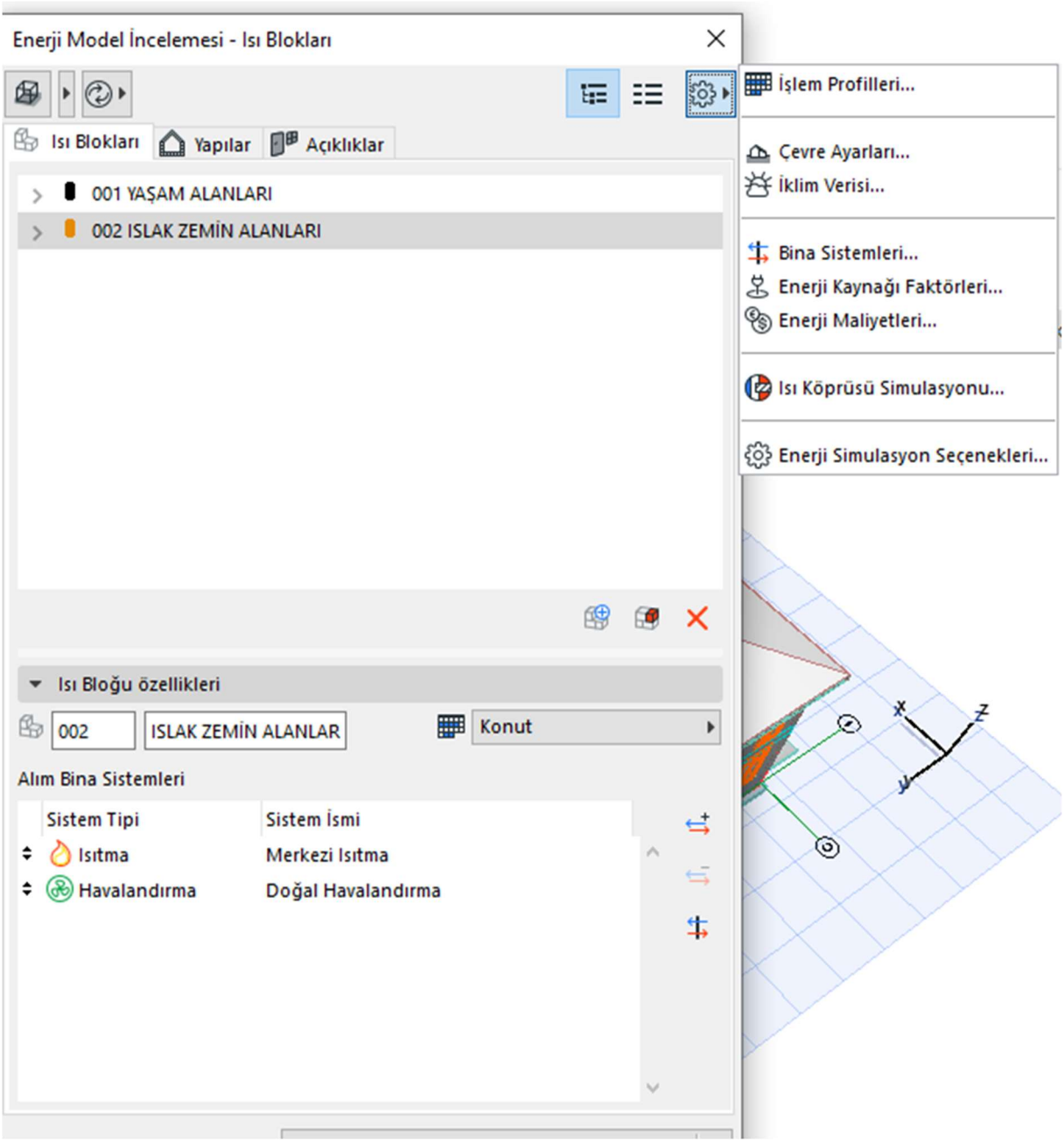
ADIM 1- İklim Verisi Tanımlama



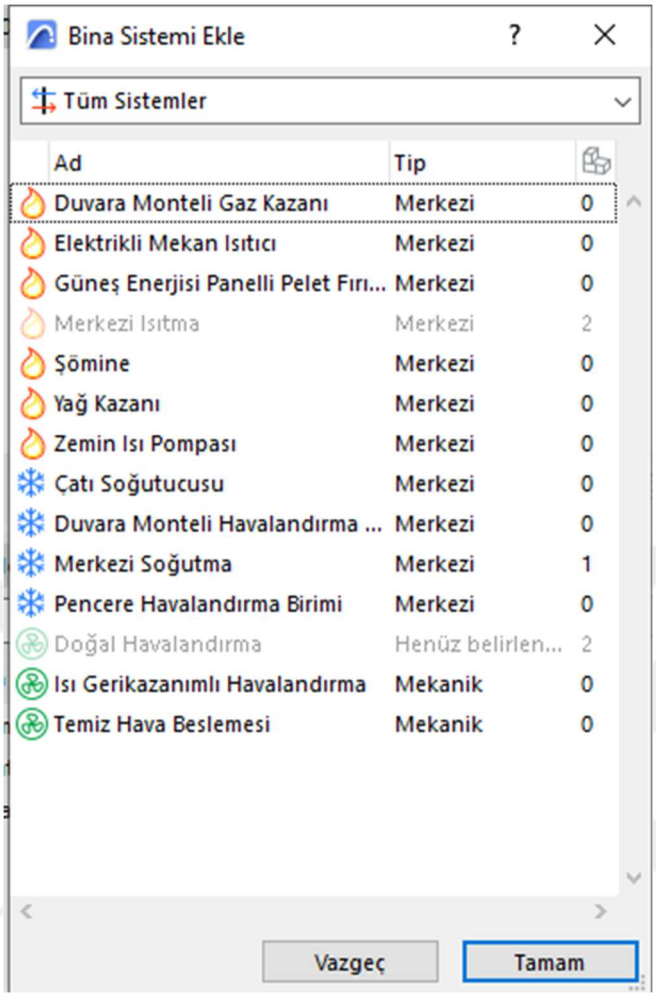
ADIM 2- Yaşam Alanlarının Tanımlanması



ADIM 3- Islak Zemin Alanlarının Tanımlanması

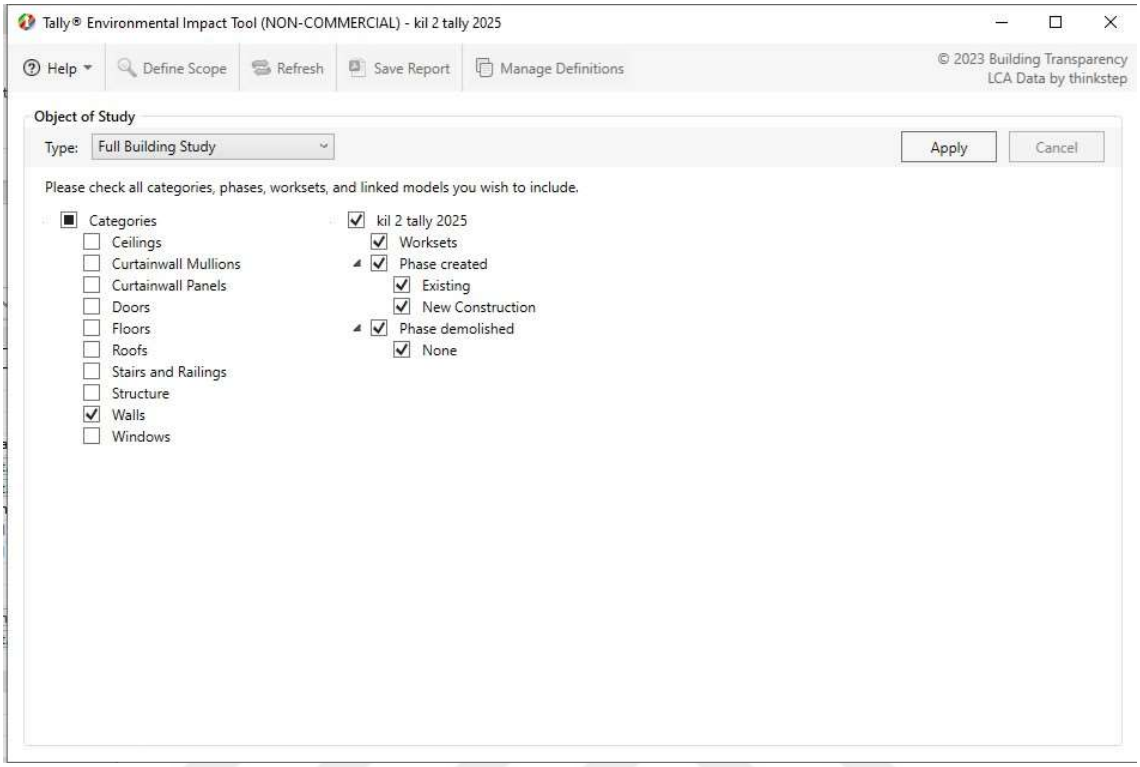


ADIM 4- Bina Sisteminin Tanımlanması



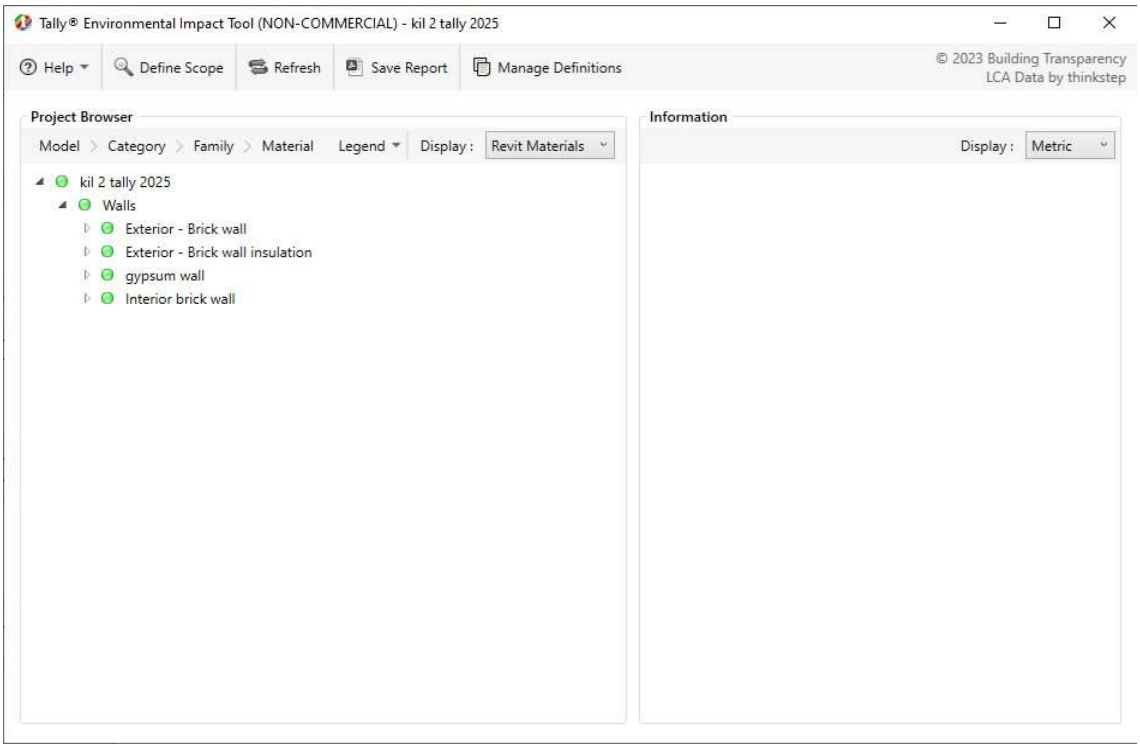
8.2.4. Revit Yazılımının Eklentisi Tally ile Veri Girdisi Yapılması

ADIM 1- Projenin Hangi Kısmının Çevresel Etkisinin Hesaplanacağının Belirlenmesi

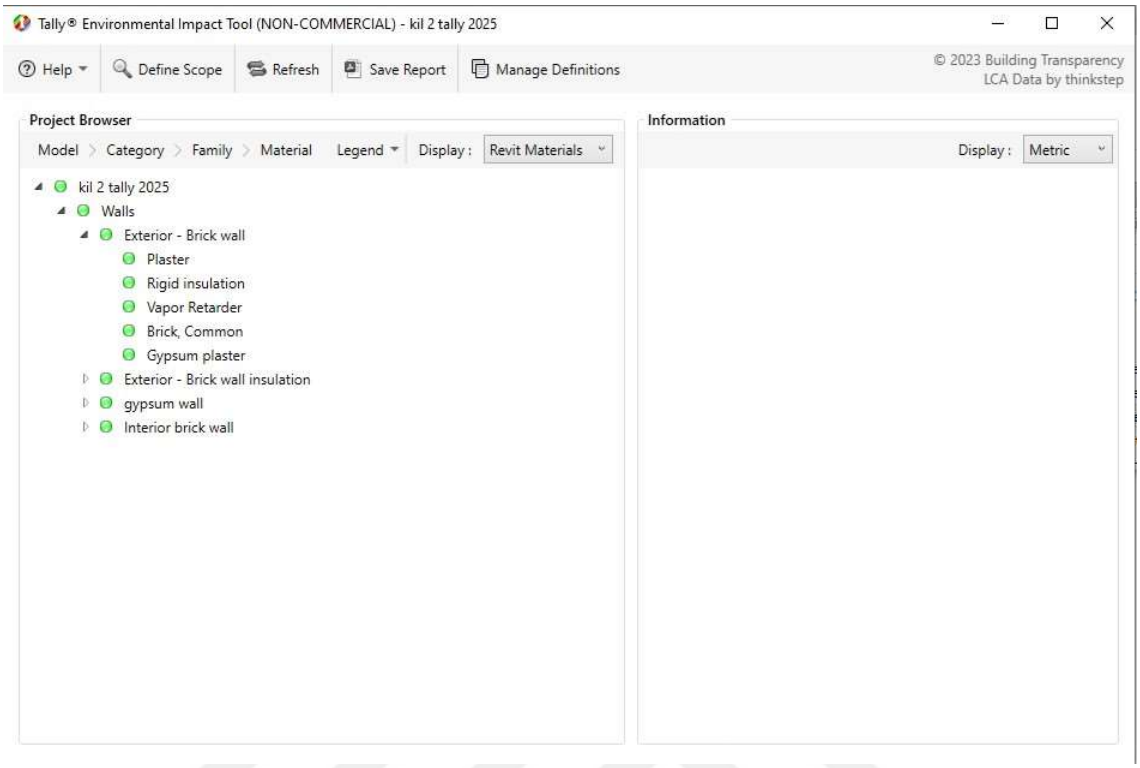


Bu Çalışmada Sadece Duvarlar İncelendiği İçin Sadece Duvarlar Seçilmiştir.

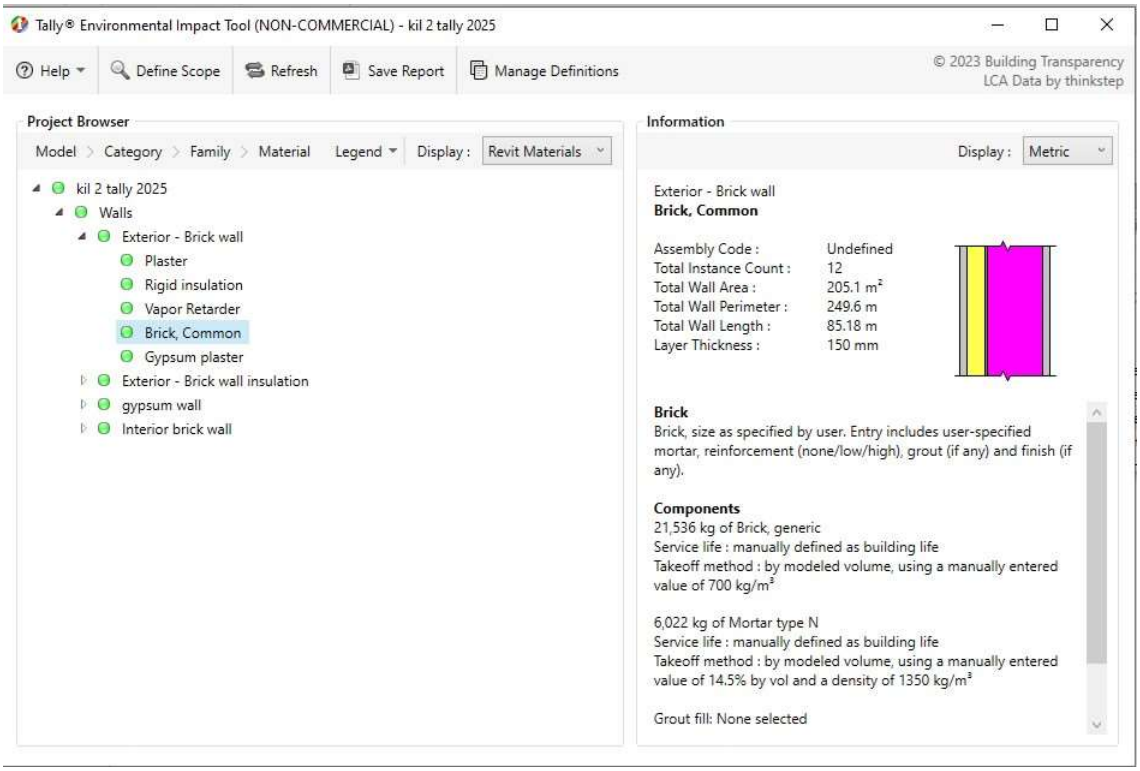
ADIM 2 – Tüm Duvarların Projedeki Family Türleri Gelir. Bu Family Türleri Tek Tek İçinde Tanımlanan Malzemeler Tanımlanması Gerekmektedir.



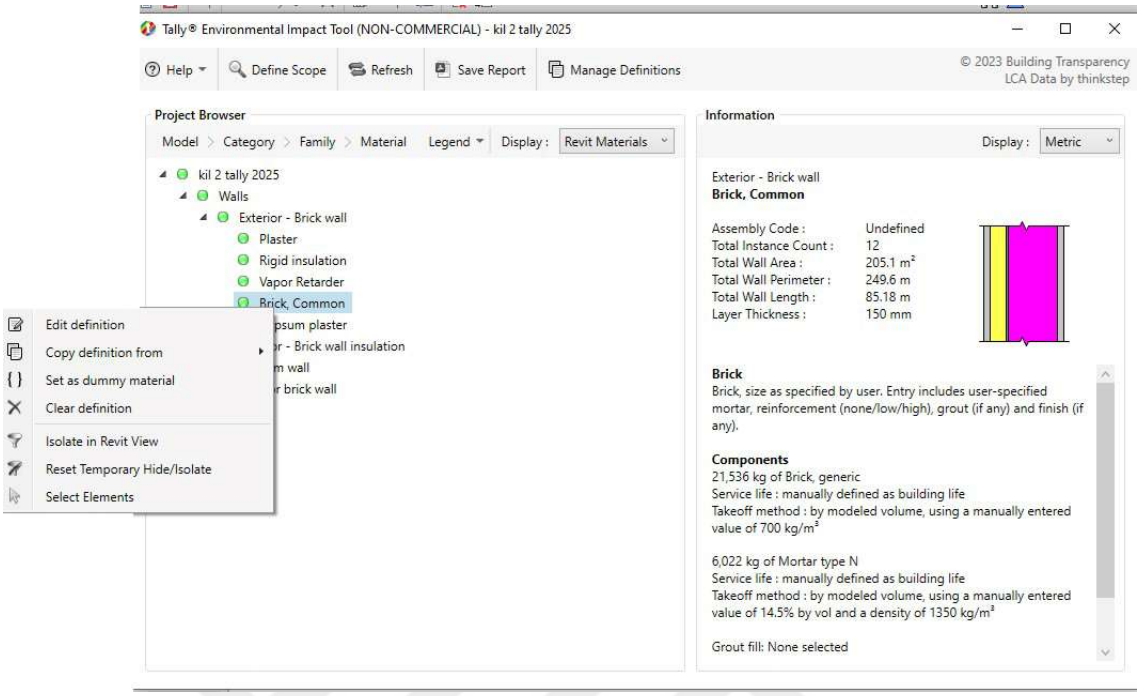
ADIM 3- Family türünün malzemeleri Revit'te tanımlandığı sırada sıralanır. Burada malzeme üzerine gelinir ve sağ klik yapılır.



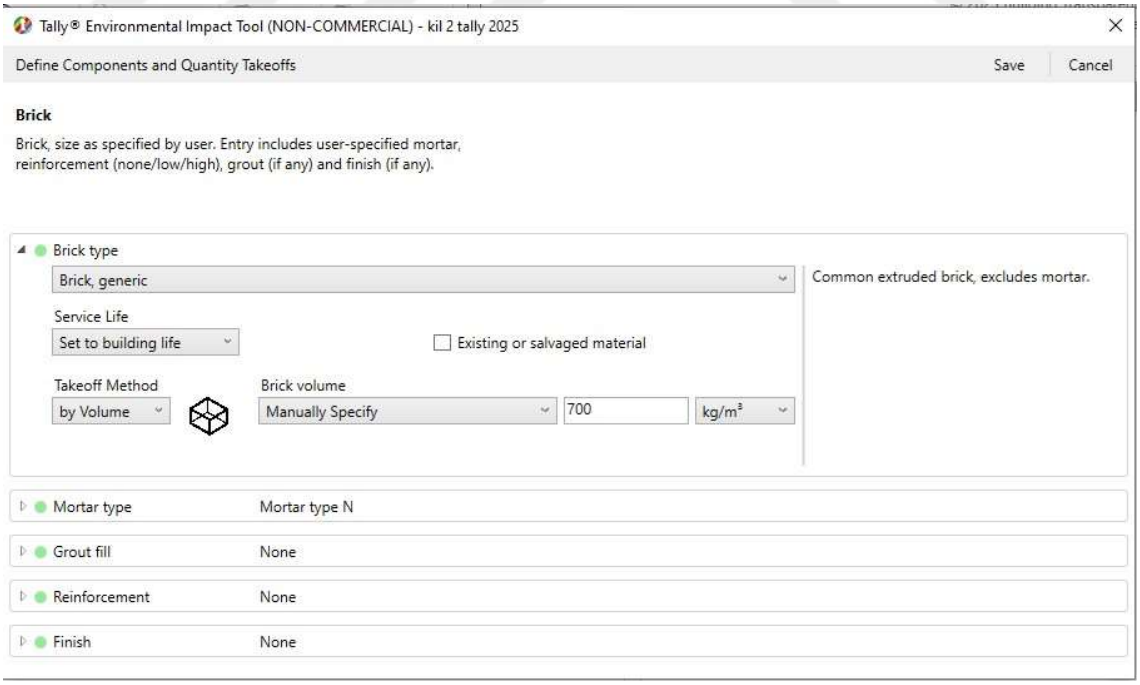
ADIM 4 – Tuğla Malzemesi Örnek Olması Amacıyla Seçilmiştir. Sağ Tarafta Malzemenin Tanımlanmış Özellikleri Yer Alır.



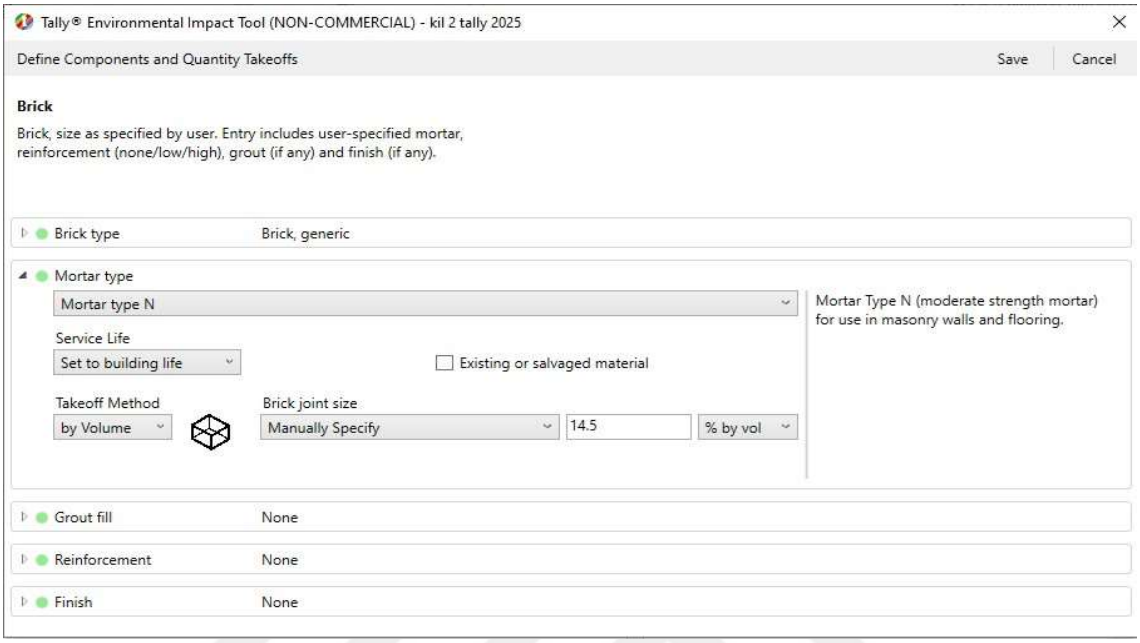
ADIM 5- Seçilen Malzemenin Özellikleri Girilir. Tanımlama Kısmında Her Malzemenin Kendine Özgü Özellikleri Listelenir.



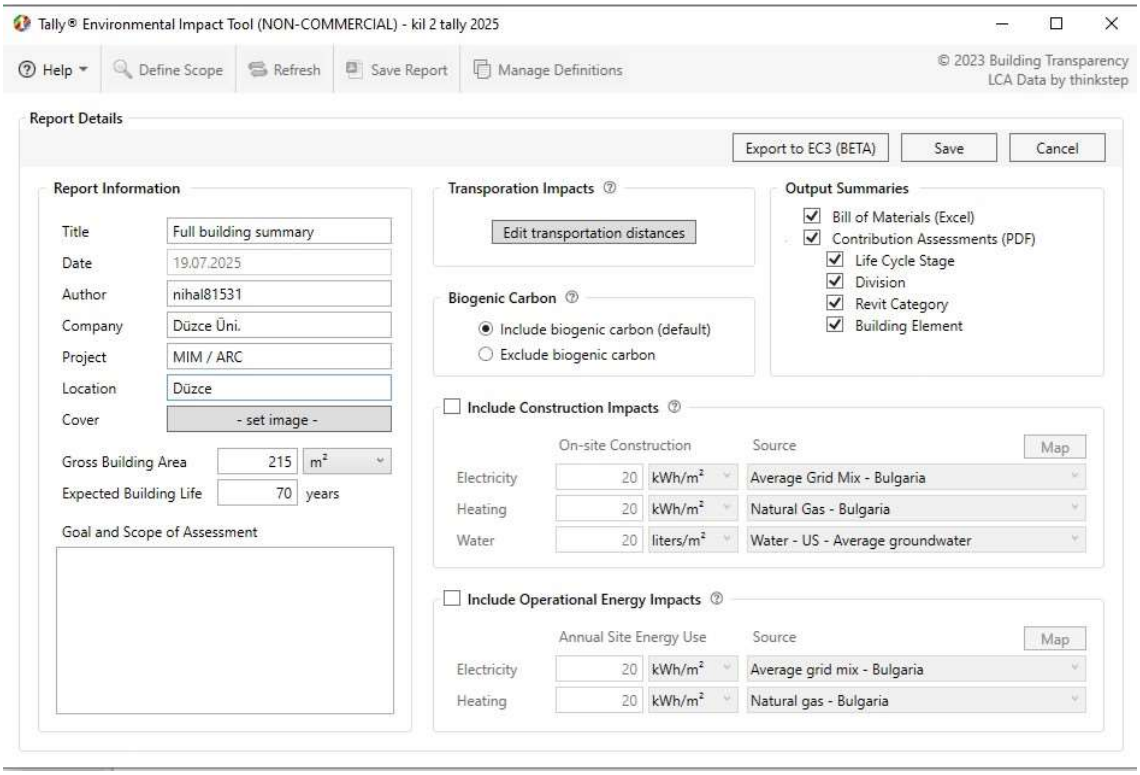
ADIM 6 – Kil Tuğlanın Hacimsel Alımda Yoğunluğu Tanımlanır.



ADIM 7 – Tuğlalar arasındaki harç (Tuğla arası için uygun olan N türünde seçilmiş ve) ilişkisi hacimsel alıma göre yüzdelik olarak belirtilmiştir. Gazbeton ve Bims Blokların büyüklüğü daha büyük olduğu için daha az harç ihtiyacı olmuş ve bunu karşılamak için daha az oranlarda yüzdelik alınmıştır.



ADIM 8 – gerekli yer ve firma bilgileri girilip amaç tanımlandıktan sonra kaydet düşüyle program bir hesaplama yapar. Türkiye'ye ait bilgi bulunmadığından bu seçenekler işaretlenip hesaba katılamamıştır. Bunu PDF uzantılı bir rapor sunar ve Excel'de nereleri kullandığını belirtir. Excel'i değiştirip PDF alma şansı yoktur.



8.3. EK 3: ÖRNEK YAPININ METRAJ BİLGİLERİ

8.3.1. Duvar Çekirdeği Archicad Yazılımıyla Oluşturulan Duvar Çizelgesi

Duvar Çekirdeği Metrajı

Çalışılan Kat Adı	Eleman ID'si	Duvar Tipi	Yükseklik [m]	Duvar Dış Yüzü Yüzey Alanı (Koşullu) [m2]	Duvar Kalınlık [m]	Duvar çekirdek Kalınlığı [m]	Net Hacim [m3]	Kılavuz Çizgisinin Uzunluğu [m]	Pencere Boşluğu Olmadan Düz Duvar Hacmi
Zemin Kat	DVR - 004	_sıva, Yalıtım, 15cm Kil Tuğla, alçı	3,300	24,59	0.24	0.15	3.6885	8,50	4.2075
Zemin Kat	DVR - 006	_sıva, Yalıtım, 15cm Kil Tuğla, alçı	3,300	9,51	0.24	0.15	1.4265	7,32	3.6234
Zemin Kat	DVR - 007	_sıva, Yalıtım, 15cm Kil Tuğla, alçı	3,300	6,66	0.24	0.15	0.999	2,02	0.9999
Zemin Kat	DVR - 008	_sıva, Yalıtım, 15cm Kil Tuğla, alçı	3,300	8,45	0.24	0.15	1.2675	5,75	2.84625
Zemin Kat	DVR - 010	_sıva, Yalıtım, 15cm Kil Tuğla, alçı	3,300	27,63	0.24	0.15	4.1445	10,50	5.1975
Zemin Kat	DVR - 014	_sıva, Yalıtım, 15cm Kil Tuğla, alçı	3,300	37,85	0.24	0.15	5.6775	11,35	5.61825
1. Kat	DVR - 004	_sıva, Yalıtım, 15cm Kil Tuğla, alçı	3,000	20,92	0.24	0.15	3.138	8,50	3.825
1. Kat	DVR - 008	_sıva, Yalıtım, 15cm Kil Tuğla, alçı	3,000	22,62	0.24	0.15	3.393	12,21	5.4945
1. Kat	DVR - 010	_sıva, Yalıtım, 15cm Kil Tuğla, alçı	3,000	20,86	0.24	0.15	3.129	8,50	3.825
1. Kat	DVR - 013	_sıva, Yalıtım, 15cm Kil Tuğla, alçı	3,000	36,93	0.24	0.15	5.5395	12,21	5.4945
TOPLAM							**32.403**		**41.1318**

Not: Son sütun hiçbir pencere kapı boşluğu olmadığı kabulüyle duvar metrajıdır.

8.3.2. Duvar Çekirdeği Revit Yazılımıyla Oluşturulan Duvar Çizelgesi

<Duvar Çekirdeği Metrajı>

A	B	C	D	E	F	G
Base Constraint	Family and Type	Material: Name	Material: Area	Area	Width	Brick volume
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		5.96 m²	6.60 m²	24.00 cm	0.893269
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		7.33 m²	7.65 m²	24.00 cm	1.099256
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		7.73 m²	7.73 m²	24.00 cm	1.15875
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		11.46 m²	11.79 m²	24.00 cm	1.718281
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		12.18 m²	12.81 m²	24.00 cm	1.827644
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		25.77 m²	26.97 m²	24.00 cm	3.865631
Zemin Kat	Basic Wall: Exterior Brick, Common		35.02 m²	36.11 m²	24.00 cm	5.252606
Zemin Kat: 7			105.44 m²			15.815437
Kat 1	Basic Wall: Exterior Brick, Common		9.32 m²	9.32 m²	24.00 cm	1.397487
Kat 1	Basic Wall: Exterior Brick, Common		12.28 m²	12.84 m²	24.00 cm	1.841427
Kat 1	Basic Wall: Exterior Brick, Common		20.73 m²	21.31 m²	24.00 cm	3.109777
Kat 1	Basic Wall: Exterior Brick, Common		26.78 m²	26.91 m²	24.00 cm	4.017328
Kat 1	Basic Wall: Exterior Brick, Common		36.81 m²	37.75 m²	24.00 cm	5.521017
Kat 1: 5			105.91 m²			15.887036
			211.35 m²			31.702474

8.4. EK 4: ÖRNEK YAPININ ARCHICAD YAZILIMININ EKLENTİSİ ECODESIGNER STAR İLE ENERJİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİ

8.4.1. Kil Tuğla İçin Yapılan Hesapların Verileri

Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] Kil tuğla çekirdek duvar

Anahtar Değerleri

Genel proje verisi

Proje Adı:	Kil tuğla çekirdek duvar	
Şehir Konumu:		
Enlem:	40° 51' 27" K	
Boylam:	31° 12' 12" D	
Rakım:	0.00	m
İklim Veri Kaynağı:	Strusoft server	
Değerlendirme Tarihi:	15.07.2025 23:51	

Yapı geometri verisi

Brüt Kat Alanı:	**316.81**	m²
İşlenmiş Zemin Alanı:	**292.38**	m²
Dış Zarf Alanı:	**402.85**	m²
Havalandırılan hacim:	**667.21**	m³
Cam oranı:	**12**	%

Yapı kabuk performansı verisi

50Pa'da Enfiltrasyon:	**3.15**	ACH

Isı transferi katsayıları U değeri [W/m²K]

Bina kabuğu ortalaması:	**1.11**
Katlar:	**3.53 - 3.53**
Dış:	**0.46 - 1.05**
Zemin altı:	**0.77 - 0.77**
Açıklıklar:	**2.89 - 3.46**

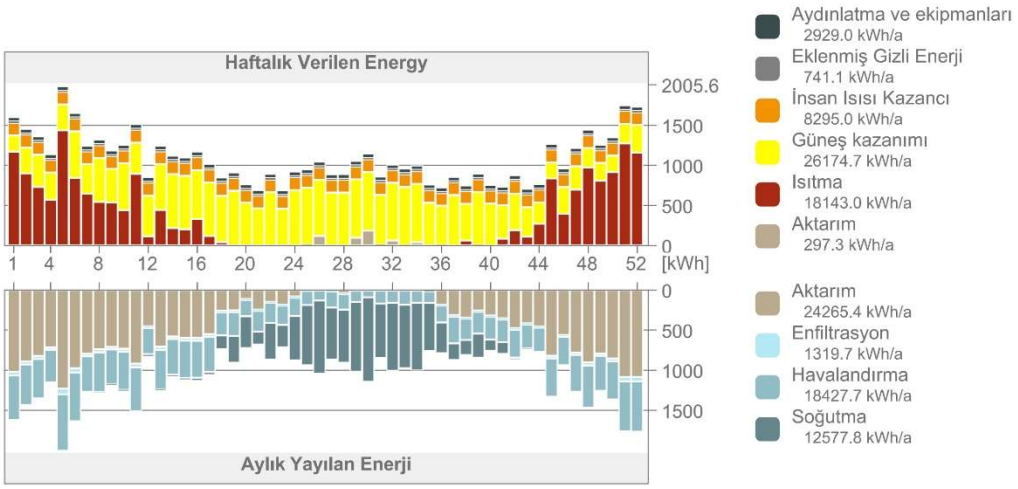
Belirli Yıllık Değerler

Net Isıtma Enerjisi:	**62.05**	kWh/m²a
Net soğutma enerjisi:	**43.02**	kWh/m²a
Toplam Net Enerji:	**105.07**	kWh/m²a
Enerji Tüketimi:	**115.09**	kWh/m²a
Yakıt Tüketimi:	**116.81**	kWh/m²a
Birincil enerji:	**138.57**	kWh/m²a
Yakıt Maliyeti:	**--**	TRY/m²a
CO_2 Emisyonu:	**17.09**	kg/m²a

Derece Günlük

Isıtma (HDD):	**3730.60**
Soğutma (CDD):	**1575.18**

Proje Enerji Dengesi



Isı Blokları

Isı Bloğu	Mahaller Atanmış	İşlem Profili	Brüt Kat Alanı m²	Hacim m³
001 Zemin Isı Bloğu	6	Konut	110.74	318.46
002 1.Kat Isı Bloğu	8	Konut	103.23	266.49
003 Temel	1	Depo	102.83	82.27
Toplam:	**15**		**316.81**	**667.21**

Enerji Performans Değerlendirmesi

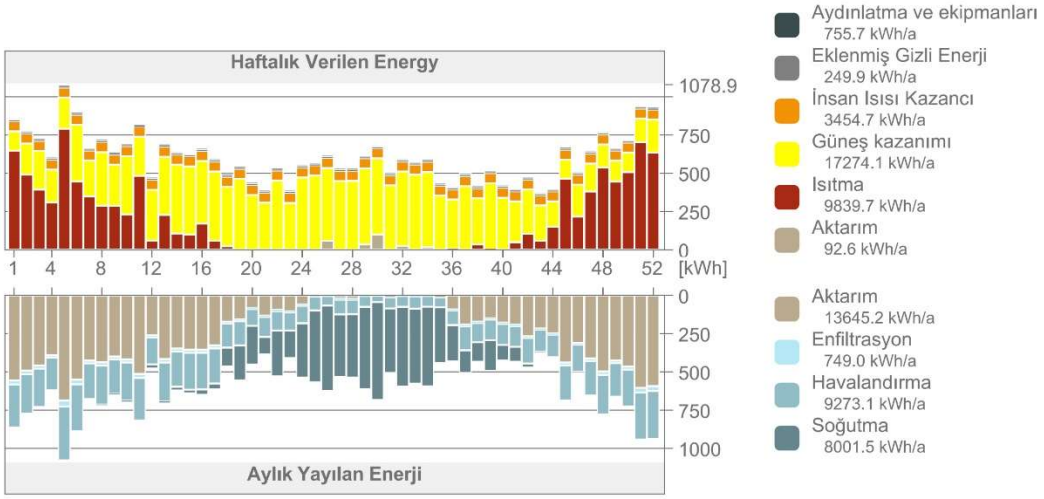
[Proje Numarası] Kil tuğla çekirdek duvar

001 Zemin Isı BloğuAnahtar Değerleri

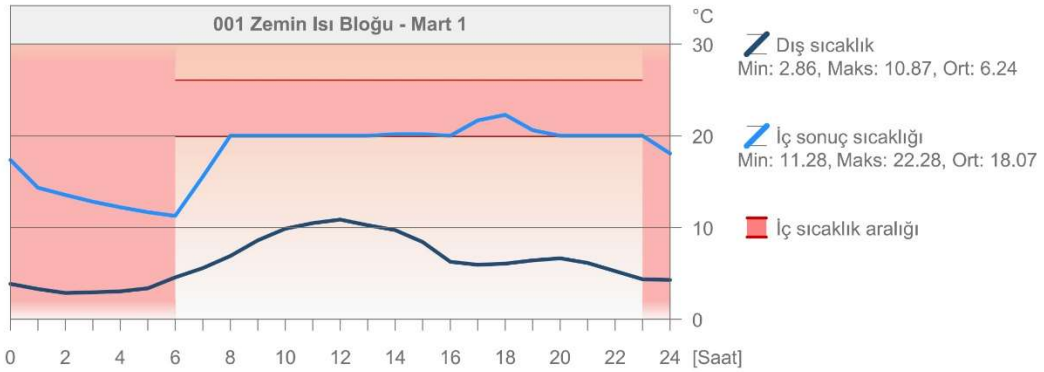
Geometri Verisi		
Brüt Kat Alanı:	**110.74**	m²
İşlenmiş Zemin Alanı:	**98.59**	m²
Bina kabuk alanı:	**205.66**	m²
Havalandırılan hacim:	**318.46**	m³
Cam oranı:	**14**	%
İç Sıcaklık		
Min. (06:00 Şub 04):	**4.17**	°C
Yıllık Ortalama:	**21.32**	°C
Maks. (06:00 Haz 28):	**30.05**	°C
Karşılanmamış Yük Saatleri		
Isıtma:	**198**	saat/a
Soğutma:	**8**	saat/a

Isı transferi katsayıları	U değeri	[W/m²K]
Katlar:	**-**	
Dış:	**0.46 - 1.05**	
Zemin altı:	**-**	
Açıklıklar:	**2.89 - 3.46**	
Yıllık Tedarikler		
Isıtma:	**9839.71**	kWh
Soğutma:	**8001.52**	kWh
Pik Yükler		
Isıtma (07:00 Şub 04):	**13.19**	kW
Soğutma (18:00 Tem 25):	**12.60**	kW

001 Zemin Isı Bloğu Enerji Dengesi

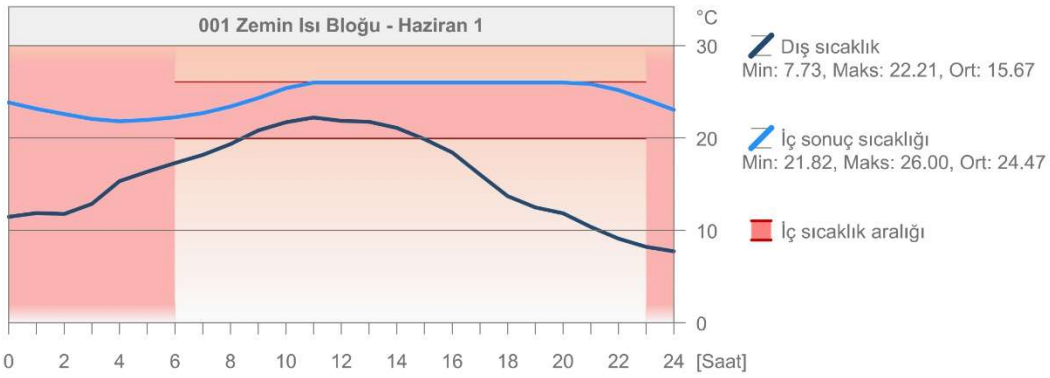


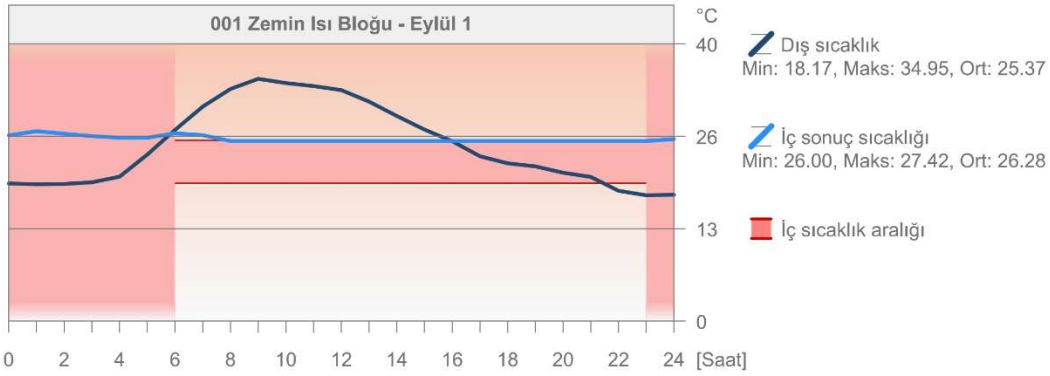
Günlük Isı Profili

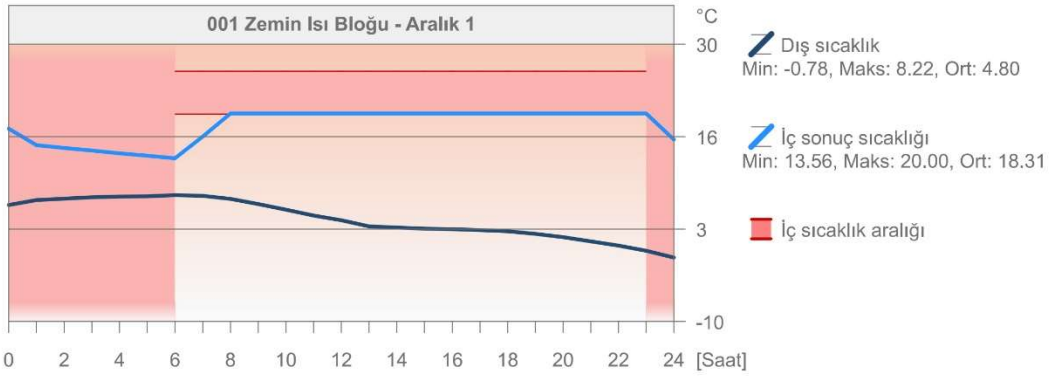


Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] Kil tuğla çekirdek duvar







Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] Kil tuğla çekirdek duvar

HVAC Tasarım Verisi

Isı Bloğu	Isıtma Talebi		Soğutma Talebi		Dahili Sıcaklık	
	Yıllık [kWh]	Saatlik Tepe Noktası	Yıllık [kWh]	Saatlik Tepe Noktası	Min. [°C]	Maks. [°C]
001 Zemin Isı Bloğu	9839	13.2 07:00 Şub 04	8001	12.6 18:00 Tem 25	4.2 06:00 Şub 04	30.0 06:00 Haz 28
002 1.Kat Isı Bloğu	8303	10.6 07:00 Şub 04	4576	6.6 18:00 Tem 25	5.8 06:00 Şub 04	29.7 06:00 Haz 28
003 Temel	0	0.0 --	0	0.0 --	5.3 06:00 Şub 19	27.5 15:00 Ağu 24
Tüm Isı Blokları:	**18143**	**23.8** **07:00 Şub 04**	**12577**	**19.2** **18:00 Tem 25**		

Yıl İçinde Kullanılan Saat Sayısı:

Isıtma: **2843** saat

Soğutma: **2211** saat

Karşılanmamış Yük Saatleri

Isıtma: **1764** saat

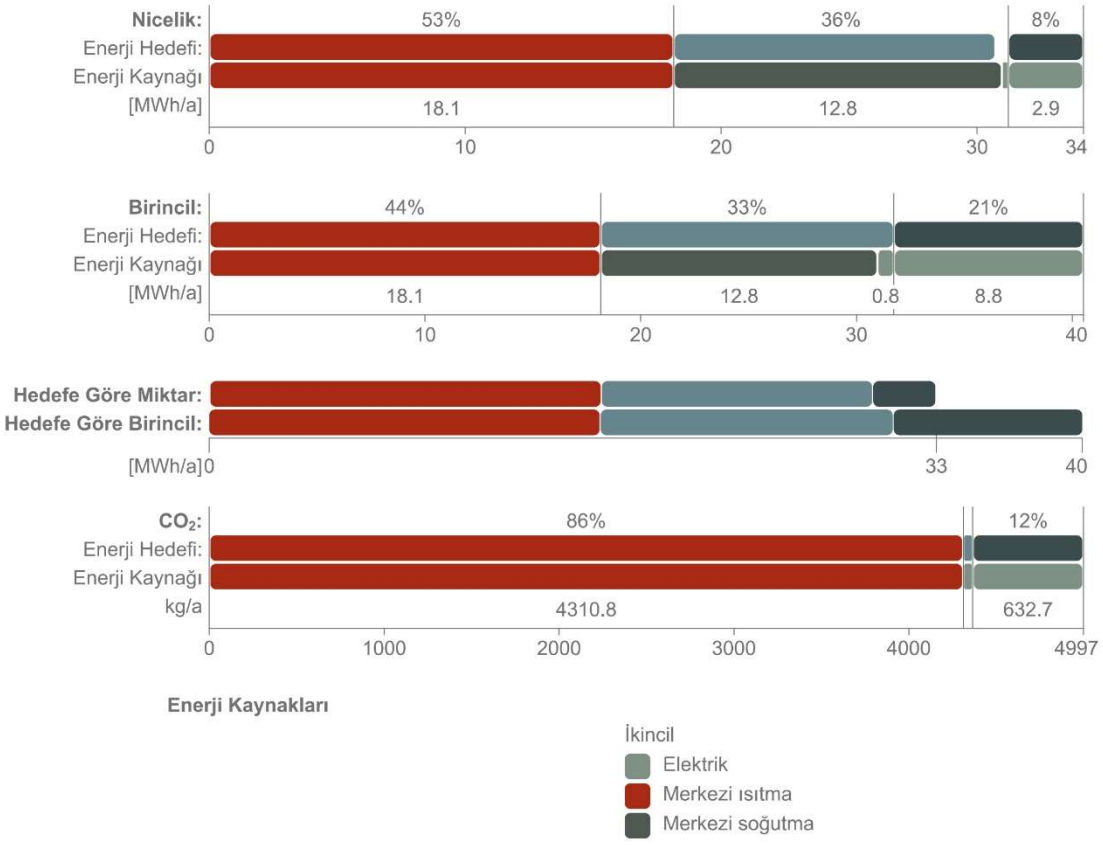
Soğutma: **86** saat

Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] Kil tuğla çekirdek duvar

Hedeflere göre Enerji Tüketimi

Hedef İsmi	Enerji Nicelik MWh/a	Birincil MWh/a	Tutar TRY/a	CO_2 Emisyonu kg/a
Isıtma	18	18	0	4310
Soğutma	12	13	0	54
Servis Sıcak Suyu	0	0	0	0
Havalandırma fanları	0	0	0	0
Aydınlatma & ekipmanları	2	8	0	632
Toplam:	**33**	**40**	**UD**	**4997**

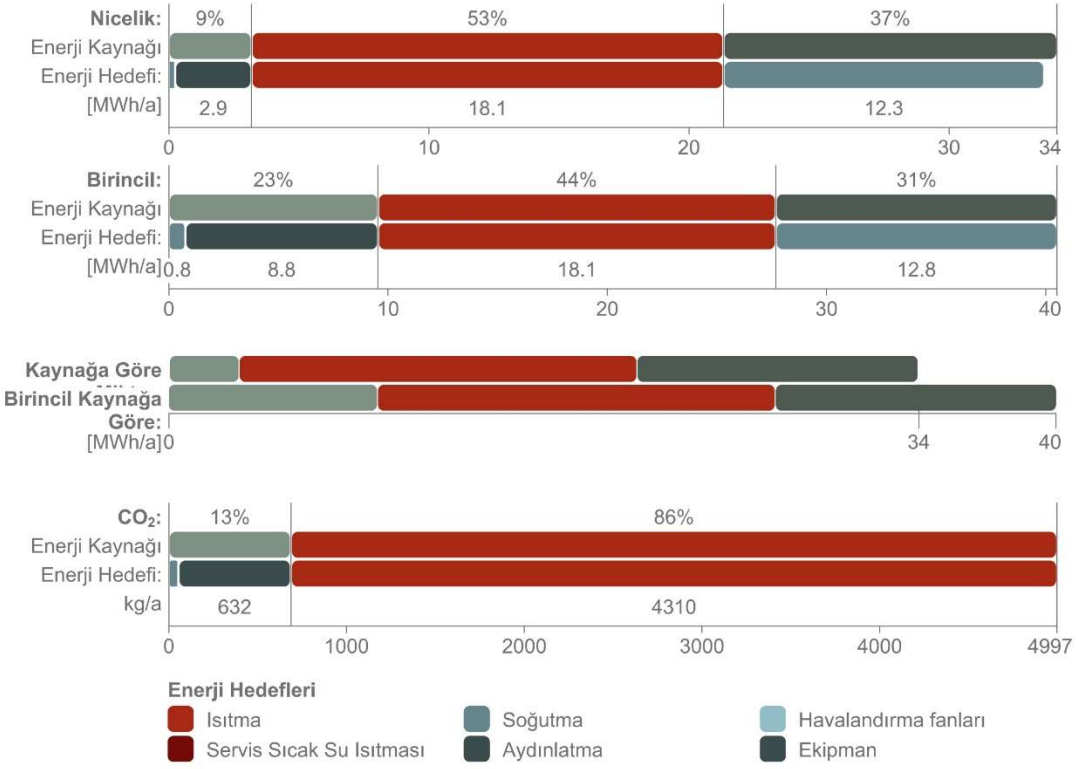


Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] Kil tuğla çekirdek duvar

Kaynaklara göre Enerji Tüketimi

Kaynak tipi	Kaynak İsmi	Enerji Nicelik MWh/a	Enerji Birincil MWh/a	Enerji Tutar TRY/a	CO_2 Emisyonu kg/a
İkincil	Elektrik	3	9	--	687
	Merkezi ısıtma	18	18	--	4310
	Merkezi soğutma	12	12	--	0
Toplam:		**34**	**40**	Uygun Değil	**4997**



Çevresel Etki

Kaynak tipi	Kaynak İsmi	Birincil Enerji MWh/a	CO_2 Emisyonu kg/a
İkincil	Elektrik	9	687
	Merkezi ısıtma	18	4310
	Merkezi soğutma	12	0
Toplam:		**39**	**4997**

8.4.2. Gazbeton blok İçin Yapılan Hesapların Verileri

Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] gazbeton çekirdek duvar

Anahtar Değerleri

Genel proje verisi

Proje Adı:	gazbeton çekirdek duvar	
Şehir Konumu:		
Enlem:	40° 51' 27" K	
Boylam:	31° 12' 12" D	
Rakım:	0.00	m
İklim Veri Kaynağı:	Strusoft server	
Değerlendirme Tarihi:	11.07.2025 23:30	

Yapı geometri verisi

Brüt Kat Alanı:	**316.67**	m²
İşlenmiş Zemin Alanı:	**292.38**	m²
Dış Zarf Alanı:	**402.91**	m²
Havalandırılan hacim:	**667.21**	m³
Cam oranı:	**12**	%

Yapı kabuk performansı verisi

50Pa'da Enfiltrasyon:	**3.15**	ACH

Isı transferi katsayıları U değeri [W/m²K]

Bina kabuğu ortalaması:	**1.05**
Katlar:	**3.53 - 3.53**
Dış:	**0.30 - 1.05**
Zemin altı:	**0.77 - 0.77**
Açıklıklar:	**2.89 - 3.46**

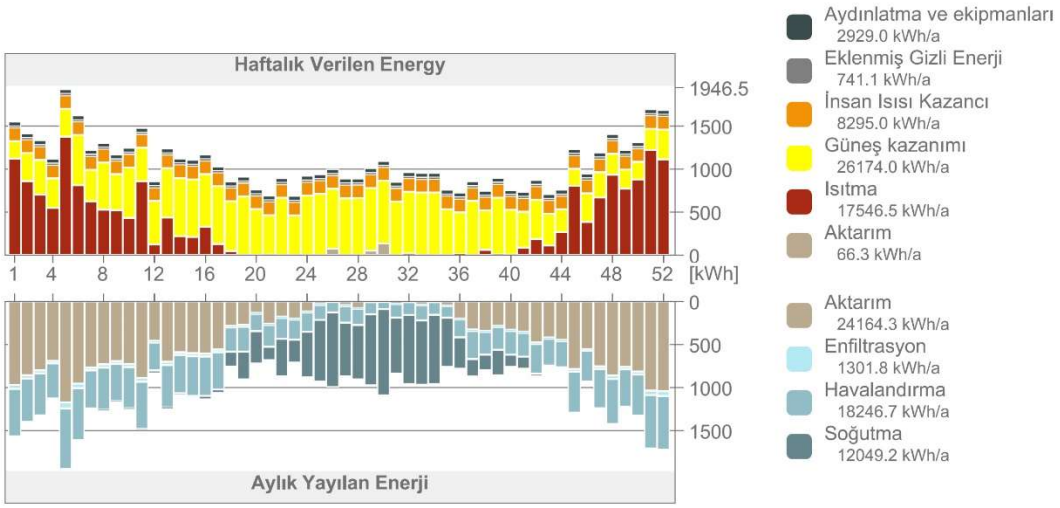
Belirli Yıllık Değerler

Net Isıtma Enerjisi:	**60.01**	kWh/m²a
Net soğutma enerjisi:	**41.21**	kWh/m²a
Toplam Net Enerji:	**101.22**	kWh/m²a
Enerji Tüketimi:	**111.24**	kWh/m²a
Yakıt Tüketimi:	**112.89**	kWh/m²a
Birincil enerji:	**134.57**	kWh/m²a
Yakıt Maliyeti:	**--**	TRY/m²a
CO_2 Emisyonu:	**16.60**	kg/m²a

Derece Günlük

Isıtma (HDD):	**3730.60**
Soğutma (CDD):	**1575.18**

Proje Enerji Dengesi



Isı Blokları

Isı Bloğu	Mahaller Atanmış	İşlem Profili	Brüt Kat Alanı m²	Hacim m³
001 Zemin Isı Bloğu	6	Konut	110.75	318.46
002 1.Kat Isı Bloğu	8	Konut	103.09	266.49
003 Temel	1	Depo	102.83	82.27
Toplam:	**15**		**316.67**	**667.21**

Enerji Performans Değerlendirmesi

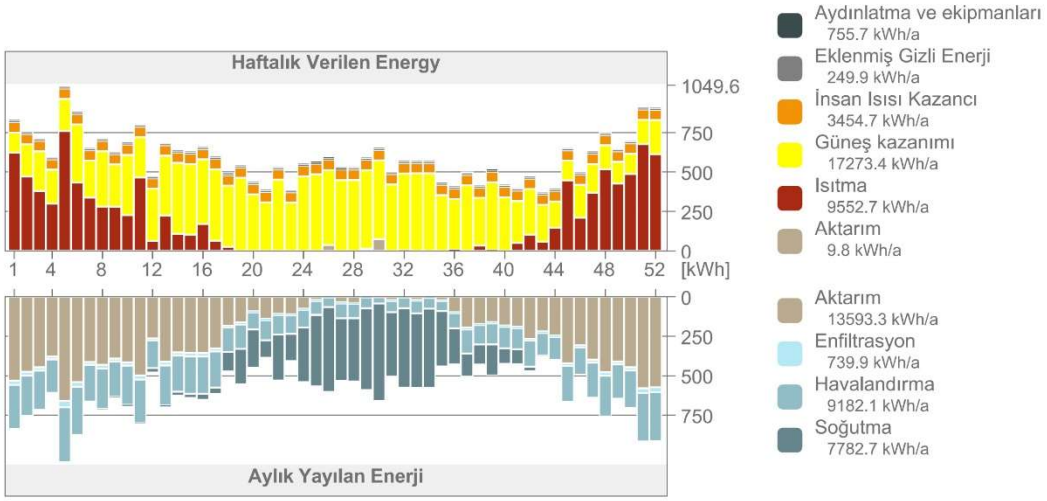
[Proje Numarası] gazbeton çekirdek duvar

001 Zemin Isı BloğuAnahtar Değerleri

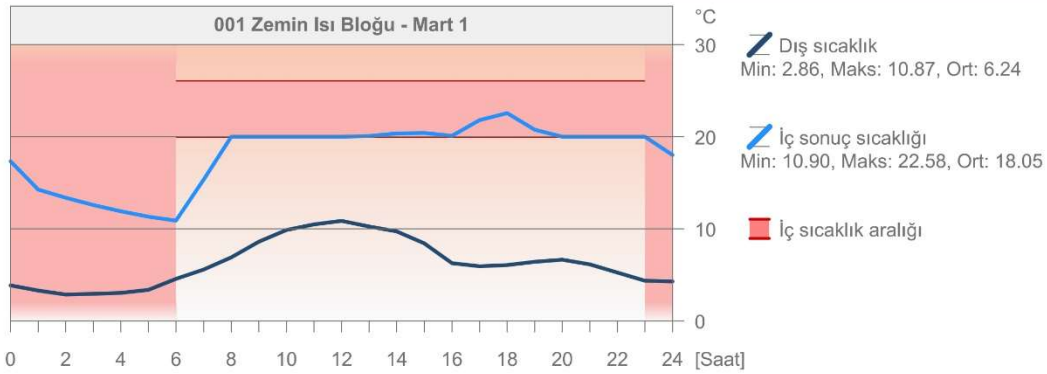
Geometri Verisi		
Brüt Kat Alanı:	**110.75**	m²
İşlenmiş Zemin Alanı:	**98.59**	m²
Bina kabuk alanı:	**205.72**	m²
Havalandırılan hacim:	**318.46**	m³
Cam oranı:	**14**	%
İç Sıcaklık		
Min. (06:00 Şub 06):	**3.48**	°C
Yıllık Ortalama:	**21.22**	°C
Maks. (06:00 Haz 28):	**29.93**	°C
Karşılanmamış Yük Saatleri		
Isıtma:	**202**	saat/a
Soğutma:	**6**	saat/a

Isı transferi katsayıları	U değeri	[W/m²K]
Katlar:	**-**	
Dış:	**0.30 - 1.05**	
Zemin altı:	**-**	
Açıklıklar:	**2.89 - 3.46**	
Yıllık Tedarikler		
Isıtma:	**9552.67**	kWh
Soğutma:	**7782.71**	kWh
Pik Yükler		
Isıtma (07:00 Şub 04):	**13.34**	kW
Soğutma (18:00 Tem 25):	**12.48**	kW

001 Zemin Isı Bloğu Enerji Dengesi

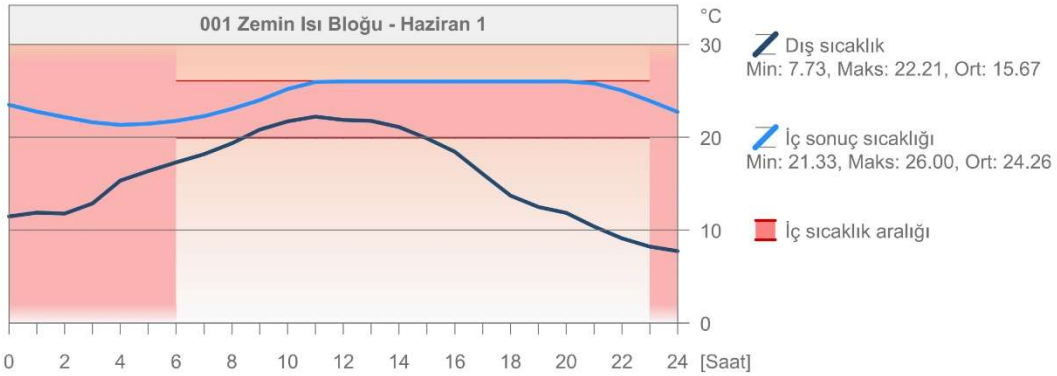


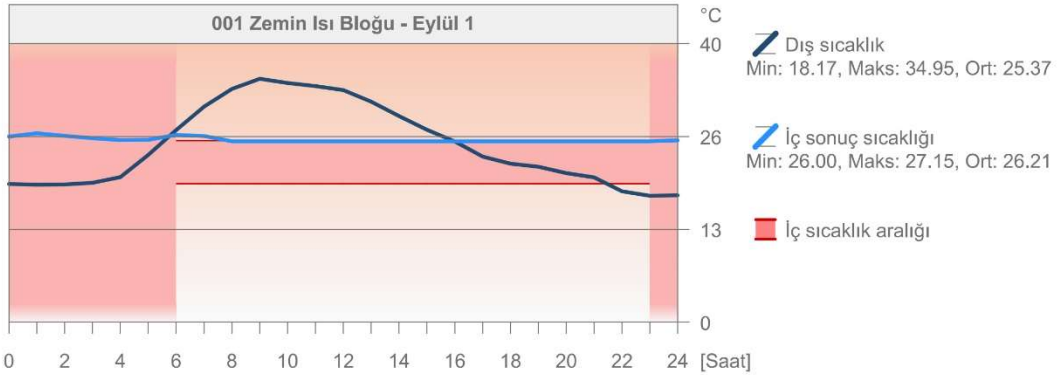
Günlük Isı Profili

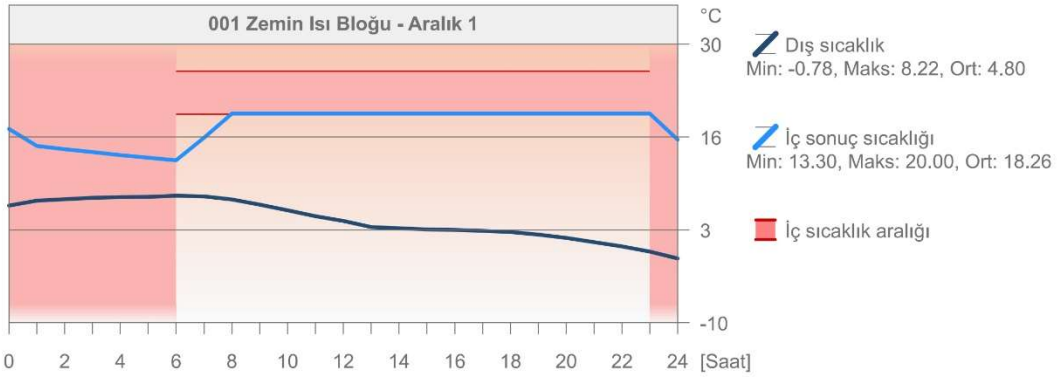


Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] gazbeton çekirdek duvar







Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] gazbeton çekirdek duvar

HVAC Tasarım Verisi

Isı Bloğu	Isıtma Talebi		Soğutma Talebi		Dahili Sıcaklık	
	Yıllık [kWh]	Saatlik Tepe Noktası	Yıllık [kWh]	Saatlik Tepe Noktası	Min. [°C]	Maks. [°C]
001 Zemin Isı Bloğu	9552	13.3 07:00 Şub 04	7782	12.5 18:00 Tem 25	3.5 06:00 Şub 06	29.9 06:00 Haz 28
002 1.Kat Isı Bloğu	7993	10.6 07:00 Şub 04	4266	6.4 18:00 Tem 25	5.0 06:00 Şub 04	29.7 06:00 Haz 28
003 Temel	0	0.0 --	0	0.0 --	5.3 06:00 Şub 19	27.5 15:00 Ağu 24
Tüm Isı Blokları:	**17546**	**24.0 07:00 Şub 04**	**12049**	**18.8 18:00 Tem 25**		

Yıl İçinde Kullanılan Saat Sayısı:

Isıtma: **2857** saat

Soğutma: **2187** saat

Karşılanmamış Yük Saatleri

Isıtma: **1768** saat

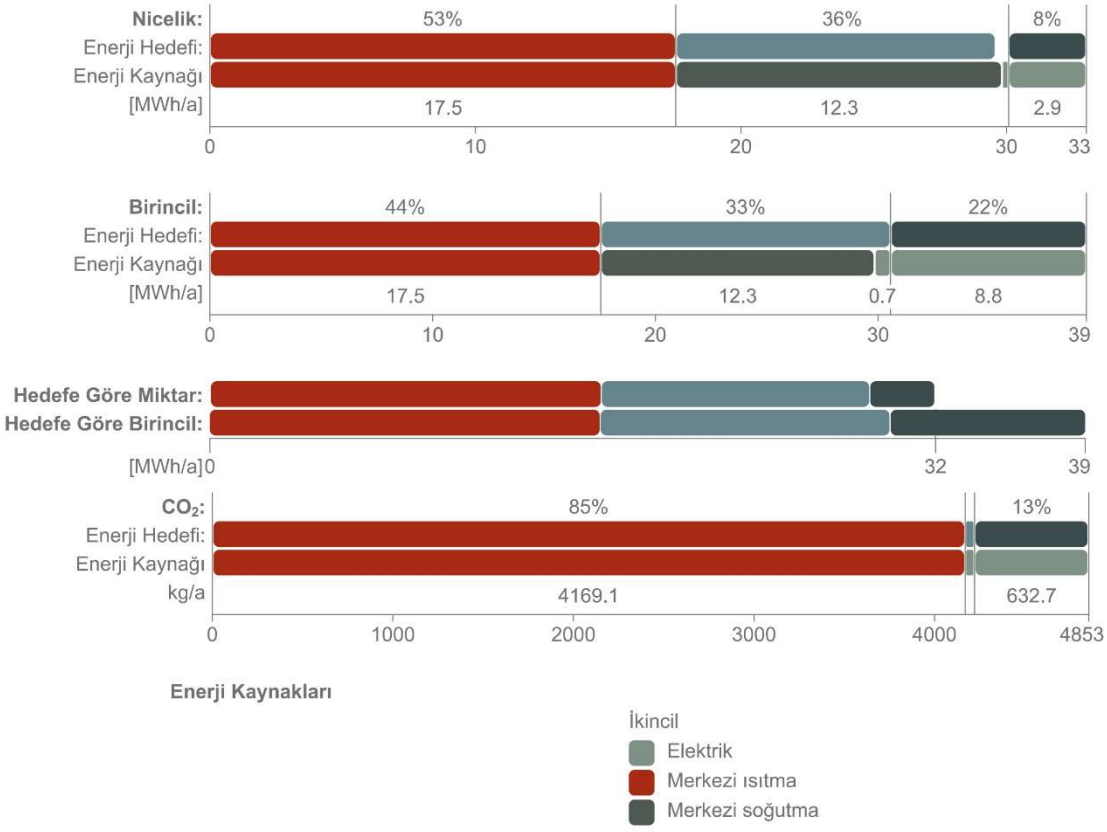
Soğutma: **84** saat

Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] gazbeton çekirdek duvar

Hedeflere göre Enerji Tüketimi

Hedef İsmi	Enerji Nicelik MWh/a	Birincil MWh/a	Tutar TRY/a	CO_2 Emisyonu kg/a
Isıtma	17	17	0	4169
Soğutma	12	13	0	52
Servis Sıcak Suyu	0	0	0	0
Havalandırma fanları	0	0	0	0
Aydınlatma & ekipmanları	2	8	0	632
Toplam:	**32**	**39**	**UD**	**4853**



Enerji Kaynakları

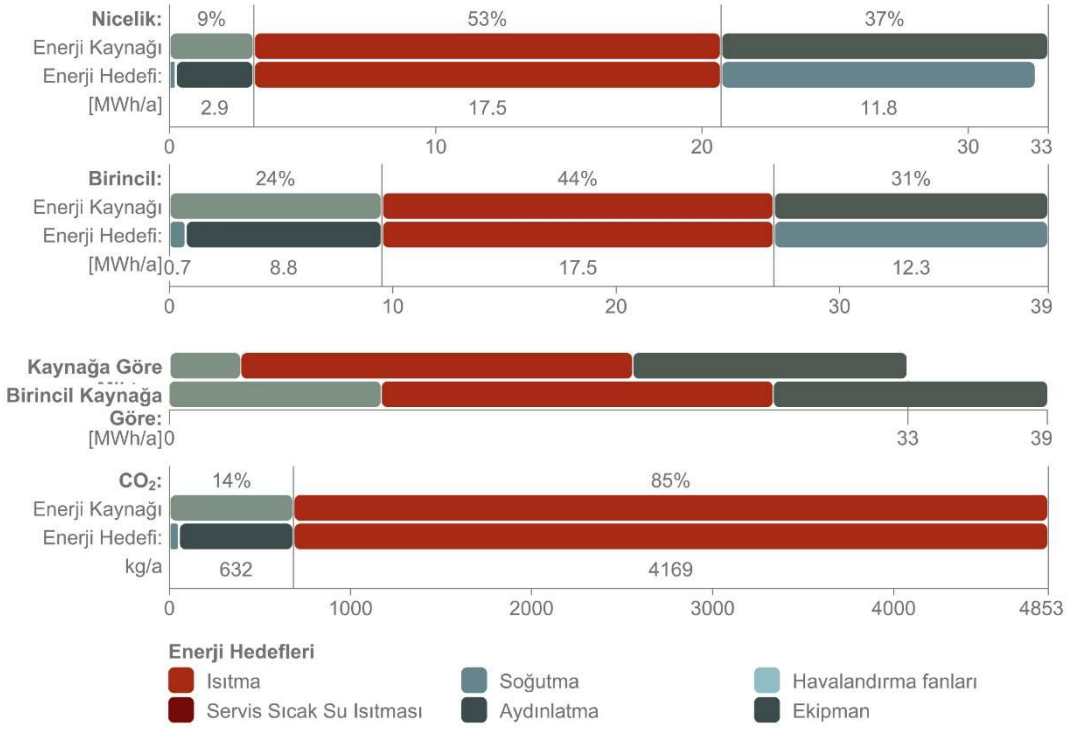
İkincil
- Elektrik
- Merkezi ısıtma
- Merkezi soğutma

Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] gazbeton çekirdek duvar

Kaynaklara göre Enerji Tüketimi

Kaynak tipi	Kaynak İsmi	Enerji Nicelik MWh/a	Enerji Birincil MWh/a	Enerji Tutar TRY/a	CO_2 Emisyonu kg/a
İkincil	Elektrik	3	9	--	684
	Merkezi ısıtma	17	17	--	4169
	Merkezi soğutma	12	12	--	0
Toplam:		**33**	**39**	Uygun Değil	**4853**



Çevresel Etki

Kaynak tipi	Kaynak İsmi	Birincil Enerji MWh/a	CO_2 Emisyonu kg/a
İkincil	Elektrik	9	684
	Merkezi ısıtma	17	4169
	Merkezi soğutma	12	0
Toplam:		**38**	**4853**

8.4.3. Bims Blok İçin Yapılan Hesapların Verileri

Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] BIMs tuğla çekirdek duvar

Anahtar Değerleri

Genel proje verisi

Proje Adı:	BIMs tuğla çekirdek duvar	
Şehir Konumu:		
Enlem:	40° 51' 27" K	
Boylam:	31° 12' 12" D	
Rakım:	0.00	m
İklim Veri Kaynağı:	Strusoft server	
Değerlendirme Tarihi:	11.07.2025 23:37	

Yapı geometri verisi

Brüt Kat Alanı:	**316.76**	m²
İşlenmiş Zemin Alanı:	**292.41**	m²
Dış Zarf Alanı:	**400.35**	m²
Havalandırılan hacim:	**667.29**	m³
Cam oranı:	**12**	%

Yapı kabuk performansı verisi

50Pa'da Enfiltrasyon:	**3.14**	ACH

Isı transferi katsayıları U değeri [W/m²K]

Bina kabuğu ortalaması:	**1.08**
Katlar:	**3.53 - 3.53**
Dış:	**0.38 - 1.05**
Zemin altı:	**0.77 - 0.77**
Açıklıklar:	**2.89 - 3.46**

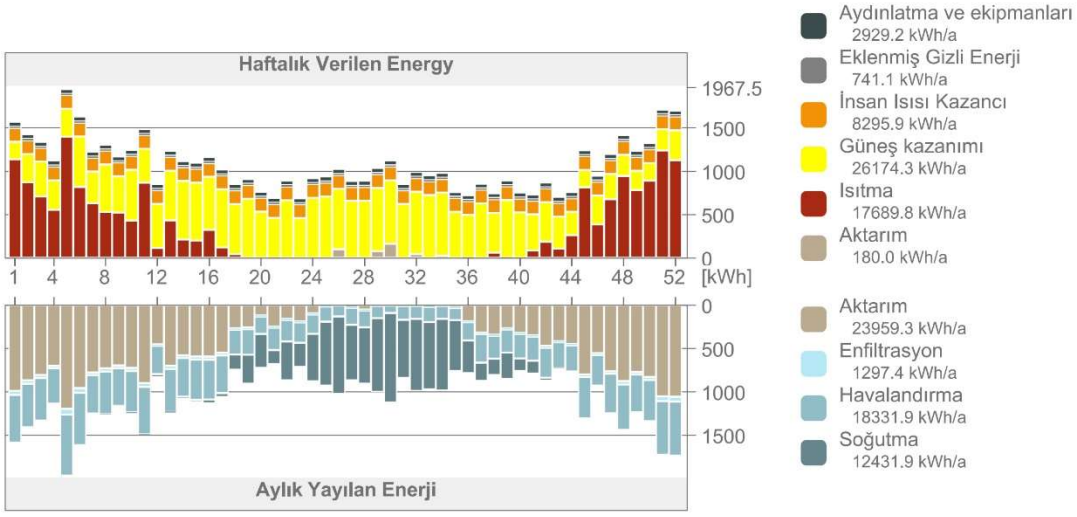
Belirli Yıllık Değerler

Net Isıtma Enerjisi:	**60.50**	kWh/m²a
Net soğutma enerjisi:	**42.52**	kWh/m²a
Toplam Net Enerji:	**103.01**	kWh/m²a
Enerji Tüketimi:	**113.03**	kWh/m²a
Yakıt Tüketimi:	**114.73**	kWh/m²a
Birincil enerji:	**136.47**	kWh/m²a
Yakıt Maliyeti:	**--**	TRY/m²a
CO_2 Emisyonu:	**16.72**	kg/m²a

Derece Günlük

Isıtma (HDD):	**3730.60**
Soğutma (CDD):	**1575.18**

Proje Enerji Dengesi



Isı Blokları

Isı Bloğu	Mahaller Atanmış	İşlem Profili	Brüt Kat Alanı m²	Hacim m³
001 Zemin Isı Bloğu	6	Konut	110.74	318.46
002 1.Kat Isı Bloğu	8	Konut	103.19	266.56
003 Temel	1	Depo	102.83	82.27
Toplam:	**15**		**316.76**	**667.29**

Enerji Performans Değerlendirmesi

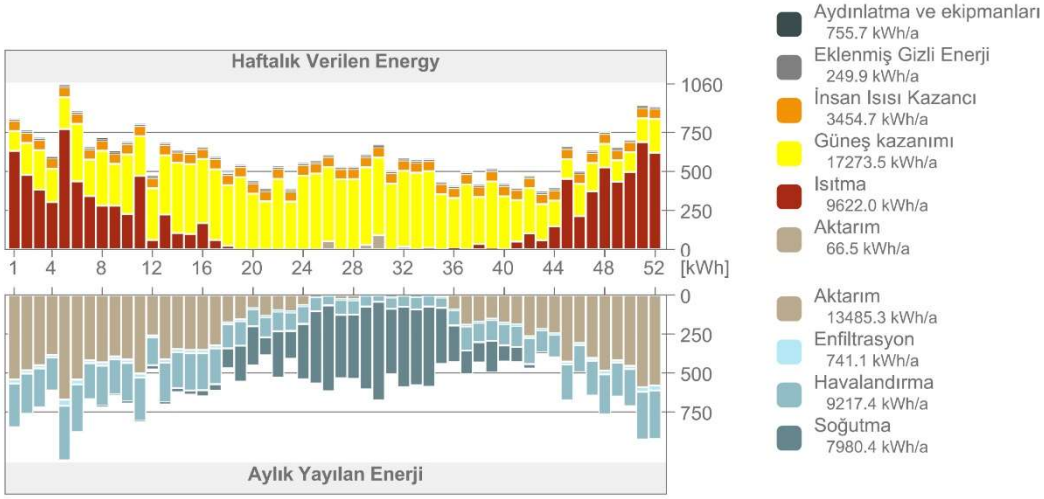
[Proje Numarası] BIMs tuğla çekirdek duvar

001 Zemin Isı BloğuAnahtar Değerleri

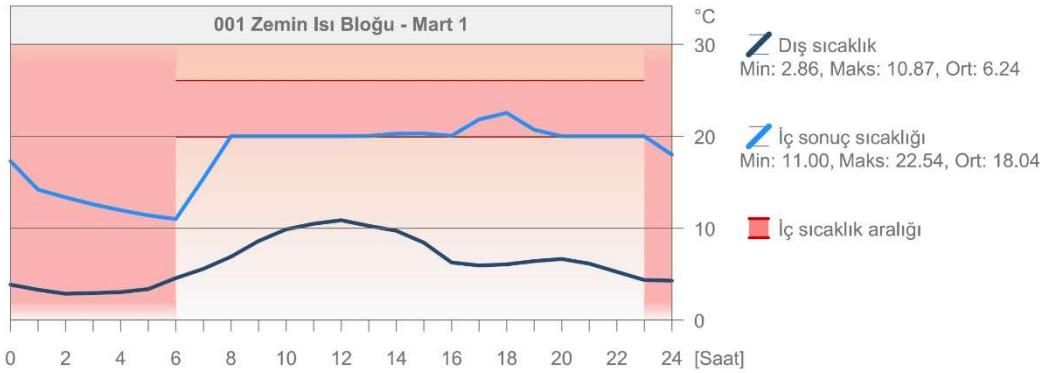
Geometri Verisi		
Brüt Kat Alanı:	**110.74**	m²
İşlenmiş Zemin Alanı:	**98.59**	m²
Bina kabuk alanı:	**205.24**	m²
Havalandırılan hacim:	**318.46**	m³
Cam oranı:	**14**	%
İç Sıcaklık		
Min. (06:00 Şub 04):	**3.66**	°C
Yıllık Ortalama:	**21.26**	°C
Maks. (06:00 Haz 28):	**30.12**	°C
Karşılanmamış Yük Saatleri		
Isıtma:	**199**	saat/a
Soğutma:	**8**	saat/a

Isı transferi katsayıları	U değeri	[W/m²K]
Katlar:	**-**	
Dış:	**0.38 - 1.05**	
Zemin altı:	**-**	
Açıklıklar:	**2.89 - 3.46**	
Yıllık Tedarikler		
Isıtma:	**9622.05**	kWh
Soğutma:	**7980.44**	kWh
Pik Yükler		
Isıtma (07:00 Şub 04):	**13.05**	kW
Soğutma (18:00 Tem 25):	**12.69**	kW

001 Zemin Isı Bloğu Enerji Dengesi

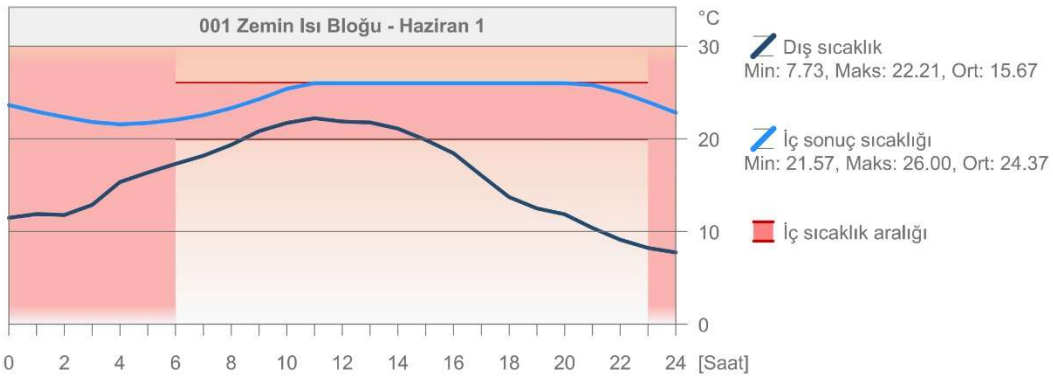


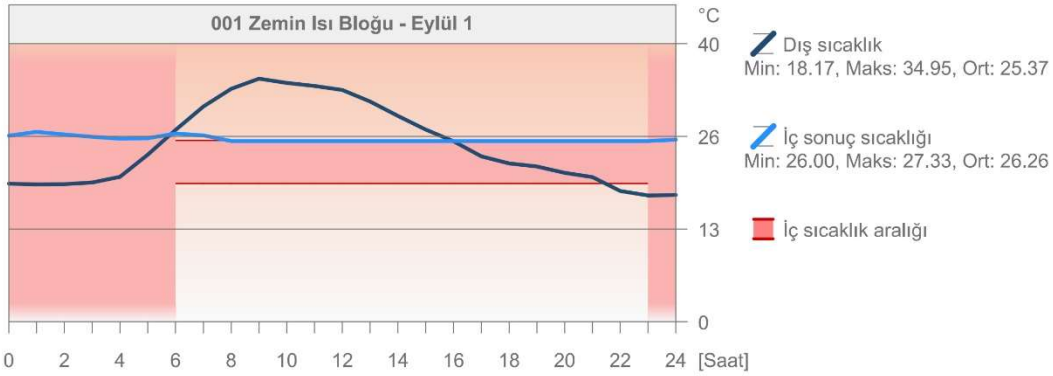
Günlük Isı Profili

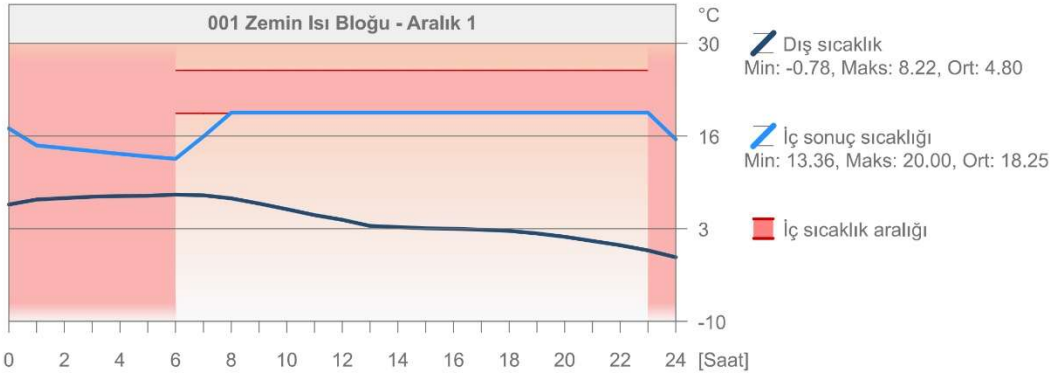


Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] BIMs tuğla çekirdek duvar







Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] BIMs tuğla çekirdek duvar

HVAC Tasarım Verisi

Isı Bloğu	Isıtma Talebi		Soğutma Talebi		Dahili Sıcaklık	
	Yıllık [kWh]	Saatlik Tepe Noktası	Yıllık [kWh]	Saatlik Tepe Noktası	Min. [°C]	Maks. [°C]
001 Zemin Isı Bloğu	9622	13.0 07:00 Şub 04	7980	12.7 18:00 Tem 25	3.7 06:00 Şub 04	30.1 06:00 Haz 28
002 1.Kat Isı Bloğu	8067	10.4 07:00 Şub 04	4451	6.5 18:00 Tem 25	5.3 06:00 Şub 04	29.8 06:00 Haz 28
003 Temel	0	0.0 --	0	0.0 --	5.3 06:00 Şub 19	27.5 15:00 Ağu 24
Tüm Isı Blokları:	**17689**	**23.5** **07:00 Şub 04**	**12431**	**19.2** **18:00 Tem 25**		

Yıl İçinde Kullanılan Saat Sayısı:

Isıtma: **2851** saat

Soğutma: **2210** saat

Karşılanmamış Yük Saatleri

Isıtma: **1764** saat

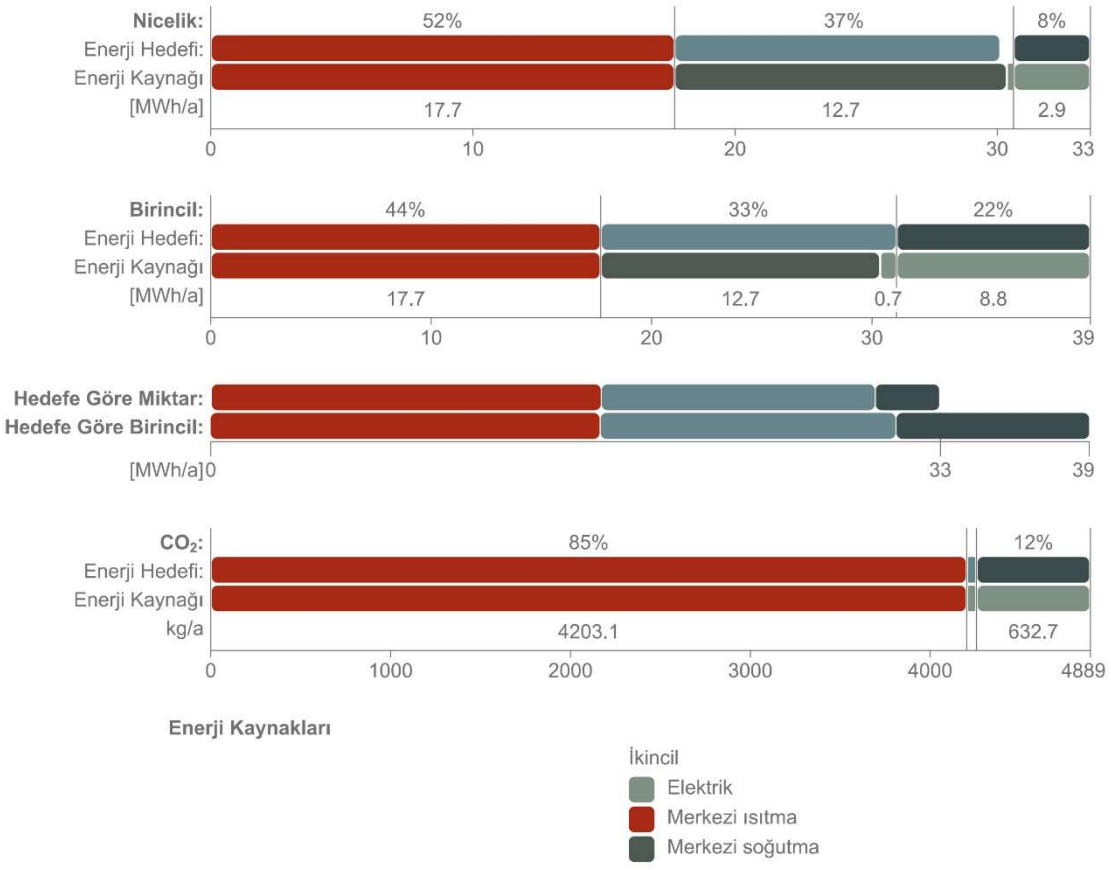
Soğutma: **94** saat

Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] BIMs tuğla çekirdek duvar

Hedeflere göre Enerji Tüketimi

Hedef İsmi	Enerji Nicelik MWh/a	Birincil MWh/a	Tutar TRY/a	CO_2 Emisyonu kg/a
Isıtma	17	17	0	4203
Soğutma	12	13	0	53
Servis Sıcak Suyu	0	0	0	0
Havalandırma fanları	0	0	0	0
Aydınlatma & ekipmanları	2	8	0	632
Toplam:	**33**	**39**	**UD**	**4889**



Enerji Kaynakları

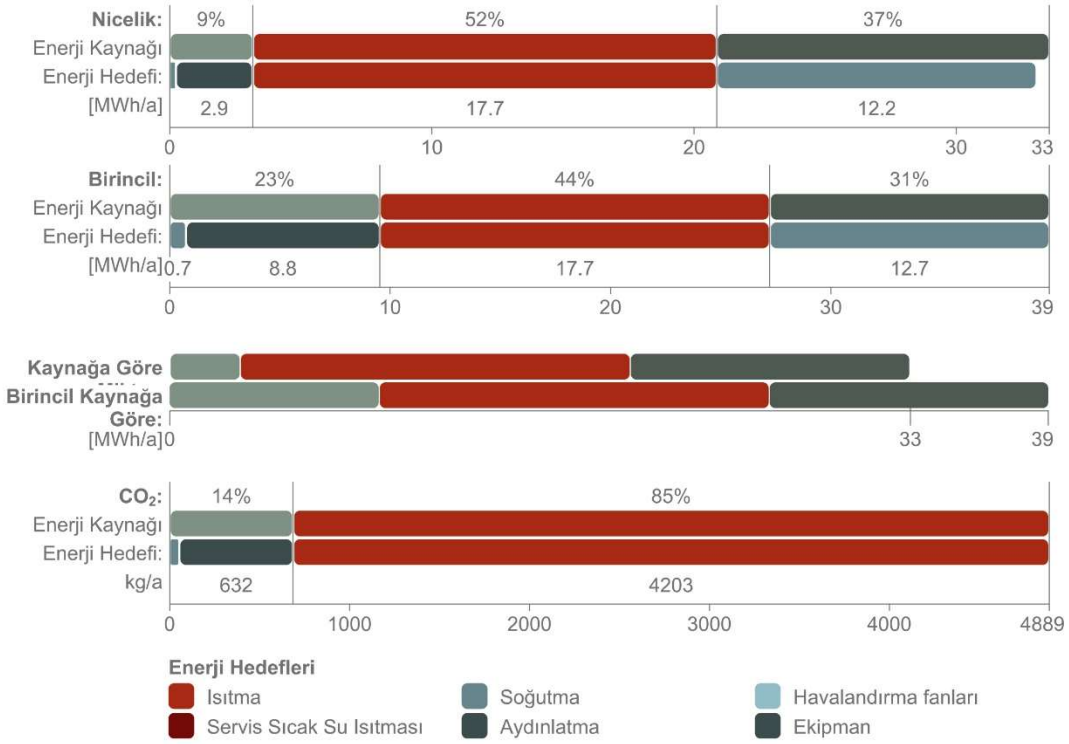
İkincil
- Elektrik
- Merkezi ısıtma
- Merkezi soğutma

Enerji Performans Değerlendirmesi

[Proje Numarası] BIMs tuğla çekirdek duvar

Kaynaklara göre Enerji Tüketimi

Kaynak tipi	Kaynak İsmi	Enerji Nicelik MWh/a	Enerji Birincil MWh/a	Enerji Tutar TRY/a	CO_2 Emisyonu kg/a
İkincil	Elektrik	3	9	--	686
	Merkezi ısıtma	17	17	--	4203
	Merkezi soğutma	12	12	--	0
Toplam:		**33**	**39**	Uygun Değil	**4889**



Çevresel Etki

Kaynak tipi	Kaynak İsmi	Birincil Enerji MWh/a	CO_2 Emisyonu kg/a
İkincil	Elektrik	9	686
	Merkezi ısıtma	17	4203
	Merkezi soğutma	12	0
Toplam:		**38**	**4889**

8.5. EK 5: ÖRNEK YAPININ REVİT YAZILIMININ EKLENTİSİ TALLY İLE ÇEVRESEL ETKİ KAPSAMININ DEĞERLENDİRMELERİ

8.5.1. Tally Programında Çevresel Etki Hesaplama Yöntemi Açıklaması

MIM / ARC

Full building summary

Calculation Methodology

LIFE CYCLE ASSESSMENT METHODS

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

Studied objects

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

Functional unit and reference unit

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

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

Data source

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

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

Data quality and uncertainty

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

System boundaries and delimitations

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

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

Calculation Methodology

LIFE CYCLE STAGES

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

Product [EN 15978 A1 - A3]

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

Transportation [EN 15978 A4]

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

Construction Installation [EN 15978 A5] (Optional)

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

Maintenance and Replacement [EN 15978 B2-B5]

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

Operational Energy [EN 15978 B6] (Optional)

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

End of Life [EN 15978 C2-C4]

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

Module D [EN 15978 D]

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

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

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

Calculation Methodology

ENVIRONMENTAL IMPACT CATEGORIES

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

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

Acidification Potential (AP) kg SO_2eq

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

Eutrophication Potential (EP) kg Neq

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

Global Warming Potential (GWP) kg CO_2eq

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

Ozone Depletion Potential (ODP) kg CFC-11eq

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

Smog Formation Potential (SFP) kg O_3eq

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

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

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

Non-Renewable Energy Demand MJ (lower heating value)

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

Renewable Energy Demand MJ (lower heating value)

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

LCI Data

END-OF-LIFE [C2-C4]

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

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

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

TRANSPORTATION [A4]

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

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

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

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

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

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

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

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

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

LCI Data (continued)

END-OF-LIFE [C2-C4]

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

End-of-Life Landfill

Scope:

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

LCI Source:

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

Concrete End-of-Life

Scope:

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

LCI Source:

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

Metals End-of-Life

Scope:

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

LCI Source:

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

Wood End-of-Life

Scope:

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

LCI Source:

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

8.5.2. Kil Tuğla Çekirdekli Kompozit Duvara Ait Veriler

MIM / ARC

Full building summary

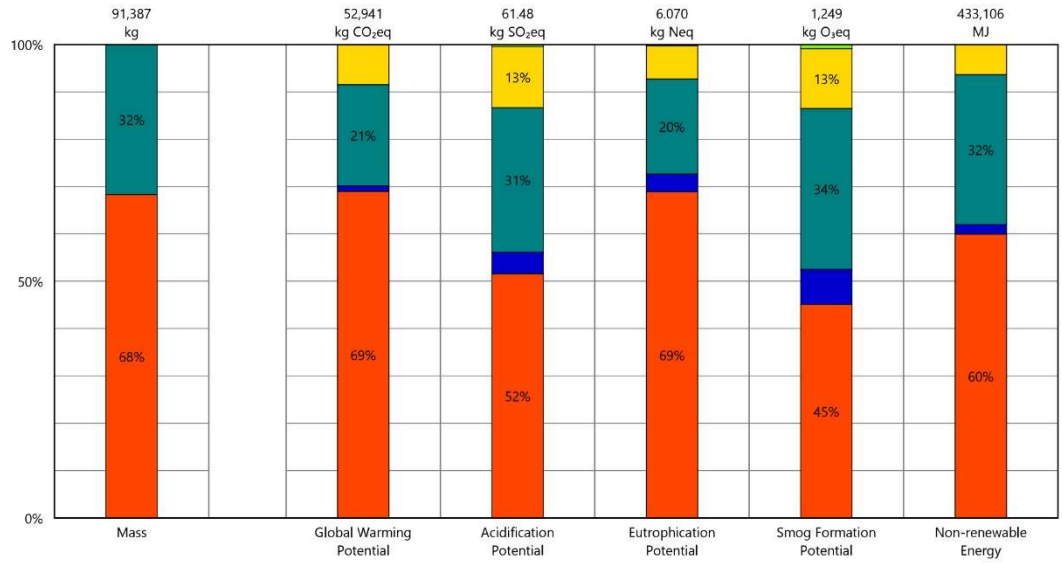
Report Summary

Created with Tally
Non-commercial Version 2023.09.13.01

Author	nihal81531
Company	Düzce Üni.
Date	11.07.2025
Project	MIM / ARC
Location	Düzce
Gross Area	215 m^2
Building Life	70 years
Boundaries	Cradle to grave, inclusive of biogenic carbon; see appendix for a full list of materials and processes

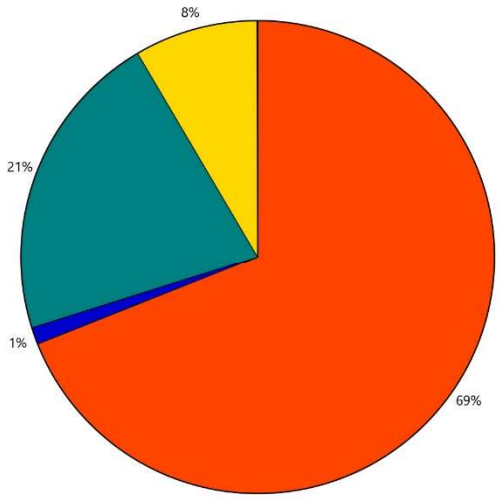
Environmental Impact Totals	**Product Stage [A1-A3]**	**Construction Stage [A4]**	**Use Stage [B2-B5]**	**End of Life Stage [C2-C4]**	**Module D [D]**
Global Warming (kg CO_2eq)	36,518	606.8	11,334	4,451	30.70
Acidification (kg SO_2eq)	31.70	2.812	18.77	7.924	0.272
Eutrophication (kg Neq)	4.182	0.2289	1.218	0.426	0.01591
Smog Formation (kg O_3eq)	563.7	92.90	423.8	157.3	11.35
Ozone Depletion (kg CFC-11eq)	0.01245	2.078E-011	2.770E-009	2.557E-006	-8.229E-011
Primary Energy (MJ)	274,445	8,824	143,733	29,225	42.58
Non-renewable Energy (MJ)	259,763	8,612	137,211	27,335	183.9
Renewable Energy (MJ)	14,630	213.4	6,580	1,920	-143
Environmental Impacts / Area					
Global Warming (kg CO_2eq/m^2)	169.9	2.822	52.72	20.70	0.1428
Acidification (kg SO_2eq/m^2)	0.1475	0.01308	0.0873	0.03686	0.001265
Eutrophication (kg Neq/m^2)	0.01945	0.001065	0.005664	0.001981	7.399E-005
Smog Formation (kg O_3eq/m^2)	2.622	0.4321	1.971	0.7318	0.05281
Ozone Depletion (kg CFC-11eq/m^2)	5.791E-005	9.666E-014	1.288E-011	1.189E-008	-3.828E-013
Primary Energy (MJ/m^2)	1,276	41.04	668.5	135.9	0.1981
Non-renewable Energy (MJ/m^2)	1,208	40.06	638.2	127.1	0.8552
Renewable Energy (MJ/m^2)	68.05	0.9924	30.60	8.929	-0.6647

Results per Life Cycle Stage



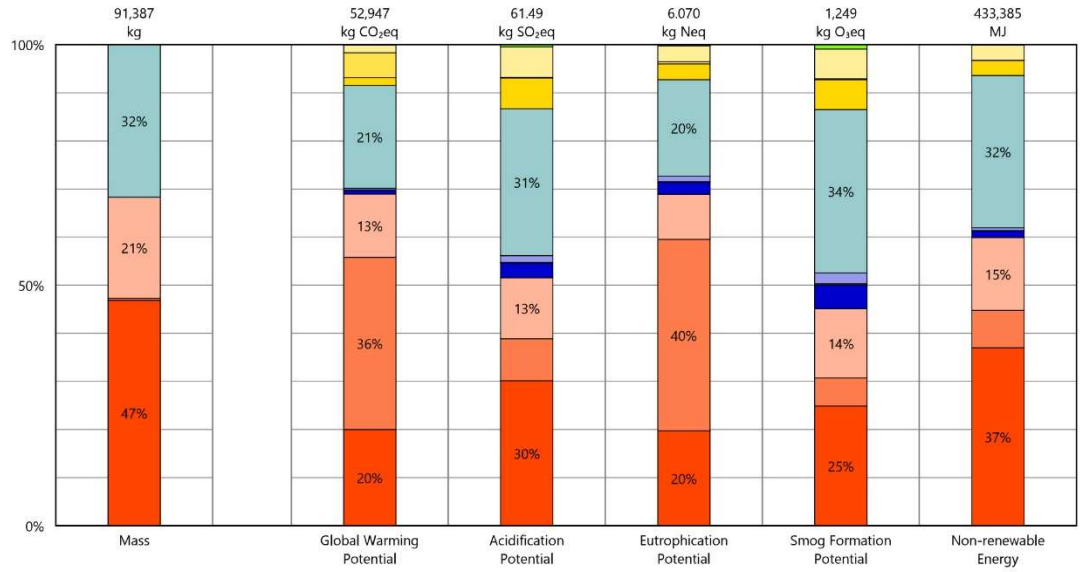
Legend

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



Global Warming Potential

Results per Life Cycle Stage, itemized by Division



Legend

Product [A1-A3]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

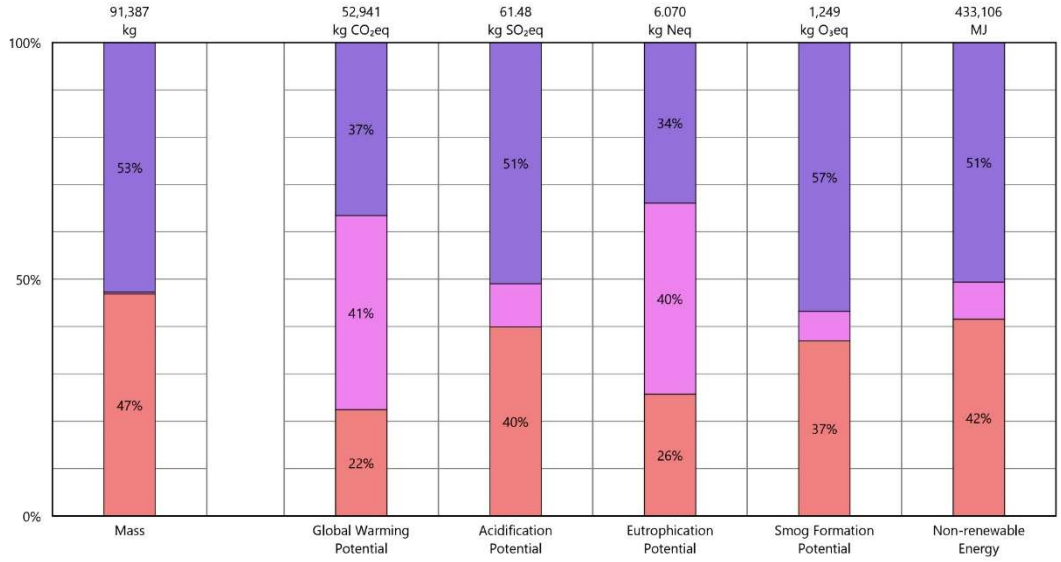
Transportation [A4]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

Maintenance and Replacement [B2-B5]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

End of Life [C2-C4]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

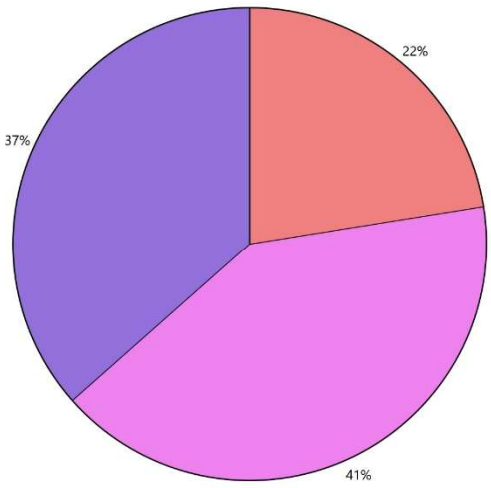
Module D [D]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

Results per Division



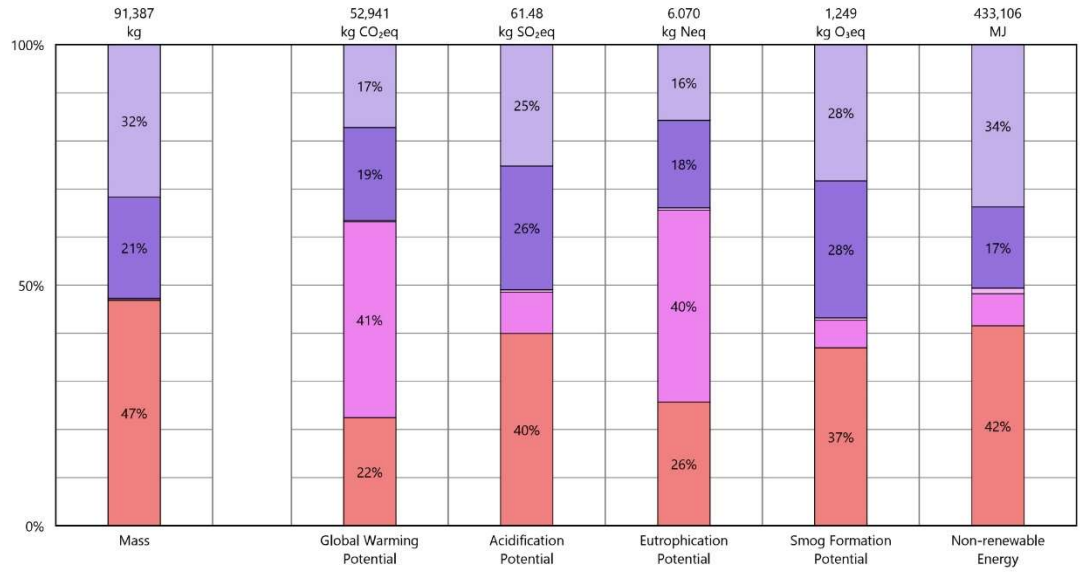
Legend

Divisions
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes



Global Warming Potential

Results per Division, itemized by Tally Entry



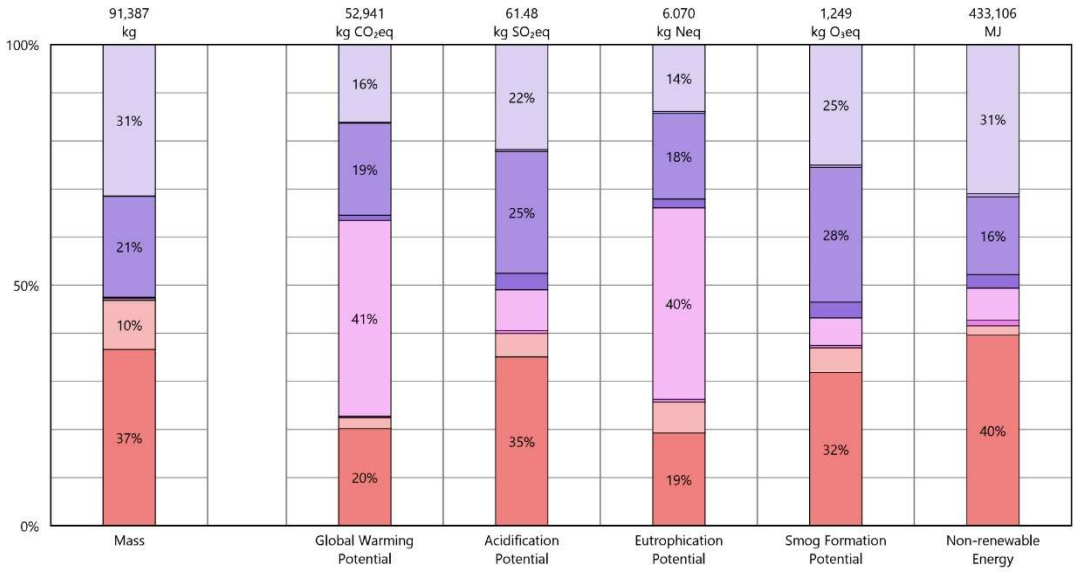
Legend

04 - Masonry
- Brick

07 - Thermal and Moisture Protection
- Extruded polystyrene (XPS), board
- Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE)

09 - Finishes
- Portland cement stucco
- Wall board, gypsum

Results per Division, itemized by Material



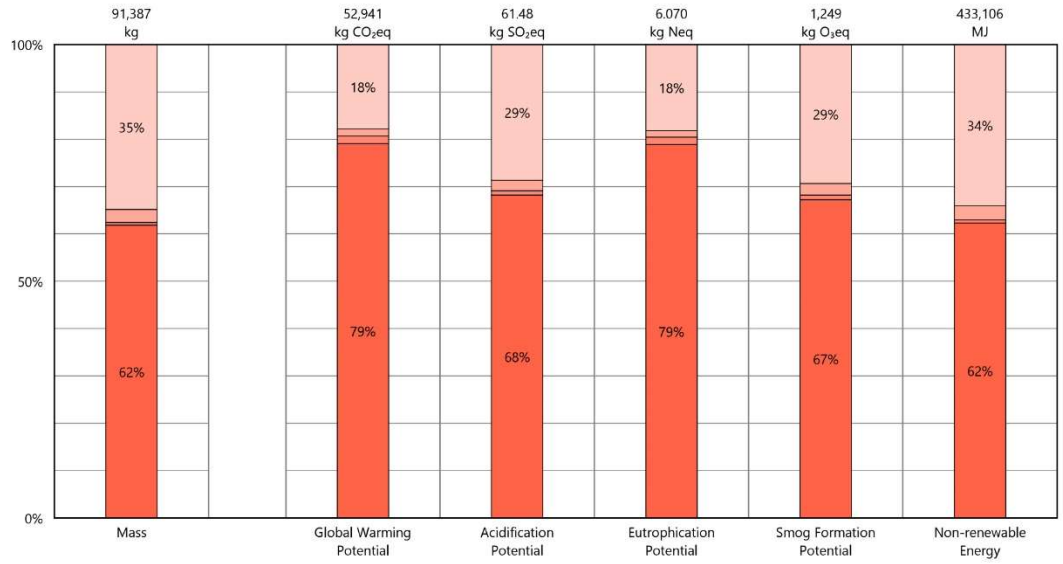
Legend

04 - Masonry
- Brick, generic
- Mortar type N

07 - Thermal and Moisture Protection
- Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE)
- XPS insulation, Foamular average, Owens Corning - EPD (expired)

09 - Finishes
- Paint, interior acrylic latex
- Stucco, portland cement
- Stucco, synthetic
- Wall board, gypsum, natural

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

Walls

- Exterior - Brick wall
- Exterior - Brick wall insulation
- gypsum wall
- Interior brick wall

LCI Data

MODEL ELEMENTS

Revit Categories
Walls

kil 2 tally 2025
Worksets
N/A

Phases
Existing
New Construction

PRODUCT [A1-A3]

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

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

Brick, generic **33,496.9 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 21,535.9 kg (70 yrs*)
Interior brick wall 11,961.1 kg (70 yrs*)

Used in the following Tally entries:
Brick

Description:
Common extruded brick, excludes mortar.

Life Cycle Inventory:
100% Fired brick

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

Transportation Distance:
By truck: 172 km

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

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

LCI Source:
DE: Stoneware tiles, unglazed (EN15804 A1-A3) ts (2017)

Mortar type N **9,367.2 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 6,022.3 kg (70 yrs*)
Interior brick wall 3,344.8 kg (70 yrs*)

Used in the following Tally entries:
Brick

Description:
Mortar Type N (moderate strength mortar) for use in masonry walls and flooring.

Life Cycle Inventory:
Dried mixture: 83% Sand
11% cement
6% limestone (11% water evaporates on drying)

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 172 km

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

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

LCI Source:
DE: Masonry mortar (MG II a) ts (2017)

LCI Data (continued)

Paint, interior acrylic latex **221.8 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 76.0 kg (7 yrs)
- gypsum wall 19.2 kg (7 yrs)
- Interior brick wall 126.6 kg (7 yrs)

Used in the following Tally entries:
Wall board, gypsum

Description:
Acrylic-based paint for interior applications

Life Cycle Inventory:
21% Binding agent
35% Pigments and fillers
42% Water
2% Organic solvents

Product Scope:
Cradle to gate, including emissions during application

Transportation Distance:
By truck: 642 km

End-of-Life Scope:
100% to landfill (plastic waste)

LCI Source:
DE: Application paint emulsion (building, interior, white, wear resistant) ts (2017)

Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE) **59.5 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 57.9 kg (70 yrs)
- Exterior - Brick wall insulation 1.6 kg (70 yrs)

Used in the following Tally entries:
Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE)

Description:
Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE) membrane
entry exclusive of adhesive or other co-products

Life Cycle Inventory:
100% Polyethylene film

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 1299 km

End-of-Life Scope:
10.5% Recycled into HDPE
89.5% Landifflled (plastic waste)

Module D Scope:
Avoided burden credit includes processing

LCI Source:
US: Polyethylene High Density Granulate (PE-HD) ts (2017)
GLO: Plastic Film (PE, PP, PVC) ts (2017)
US: Electricity grid mix ts (2014)
US: Thermal energy from natural gas ts (2014)
US: Lubricants at refinery ts (2014)

Stucco, portland cement **19,177.4 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 18,661.3 kg (60 yrs)
- Exterior - Brick wall insulation 516.2 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Portland cement stucco

Description:
Portland cement plastering (stucco), 7/8" (22.25 mm) nominal thickness is typical

Life Cycle Inventory:
100% Light plaster (Silica sand, Portland cement, Calcinated lime)

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 172 km

End-of-Life Scope:
100% Landfilled (inert waste)

LCI Source:
US: Silica sand (Excavation and processing) ts (2017)
US: Portland cement PCA/ts (2015)
US: Lime (CaO) calcination ts (2017)

Stucco, synthetic **37.0 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 36.0 kg (30 yrs)
- Exterior - Brick wall insulation 1.0 kg (30 yrs)

Used in the following Tally entries:
Portland cement stucco

Description:
Acrylic latex stucco layer, typically applied over a PVC lath. Base stucco layer with a default thickness of 3/8" (9.5 mm).

Life Cycle Inventory:
90% Acrylic resin
10% Quartz sand
2.2% NMVOC emissions during application

Product Scope:
Cradle to gate, including emissions during application

Transportation Distance:
By truck: 642 km

End-of-Life Scope:
97.8% Solids landfilled (plastic waste)

LCI Source:
DE: Acrylate resin (solvent systems) PE (2015)
US: Silica sand (excavation and processing) ts (2017)

Wall board, gypsum, natural **28,738.5 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 9,845.0 kg (30 yrs)
- gypsum wall 2,489.8 kg (30 yrs)
- Interior brick wall 16,403.8 kg (30 yrs)

Used in the following Tally entries:
Wall board, gypsum

Description:
Natural gypsum board

Life Cycle Inventory:
100% Gypsum wallboard (Gypsum, Boric acid, Cement, Glass fibres, Ferrochrome-lignine sulfonate, Silane, Polyglucose, Perlite, Paper, Casein glue)

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 172 km

End-of-Life Scope:
100% Landfilled (inert waste)

LCI Source:
DE: Gypsum wallboard (EN15804 A1-A3) ts (2017)

XPS insulation, Foamular average, Owens Corning - EPD (expired) **288.9 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 281.1 kg (70 yrs)
- Exterior - Brick wall insulation 7.8 kg (70 yrs)

Used in the following Tally entries:
Extruded polystyrene (XPS), board

Description:
FOAMULAR XPS (polystyrene) insulation board, HFC foaming agent. EPD representative of US manufacturing condition. FOAMULAR insulation board is available with a variety of R-values and compressive strengths. The default value is based on a thermal resistance of RSI 1 and a compressive strength of 30 psi. If the intended R-value and compressive strength of the assembly is known, use the drop-down menu to designate a specific product.

Life Cycle Inventory:
For information and quantities, see EPD.

Product Scope:
Cradle to gate.
Note: Product stage expanded to include blowing agent emissions during distribution and installation, and diffusion from product over service life (B1). As these impacts make a significant contribution to GWP they have been included in the product stage.

Transportation Distance:
By truck: 1190 km

End-of-Life Scope:
100% Landfilled (plastic waste), includes blowing agent emissions released during disposal

LCI Source:
(Newer data point available. Redefining this material is recommended.)

LCI Data (continued)

EPD Source:
4788721182.101.1

EPD Designation Holder:
Owens Corning

EPD Program Operator:
UL Environment

EPD Expiration:
1.01.2024

8.5.3. Gazbeton Blok Çekirdekli Kompozit Duvara Ait Veriler

MIM / ARC

Full building summary

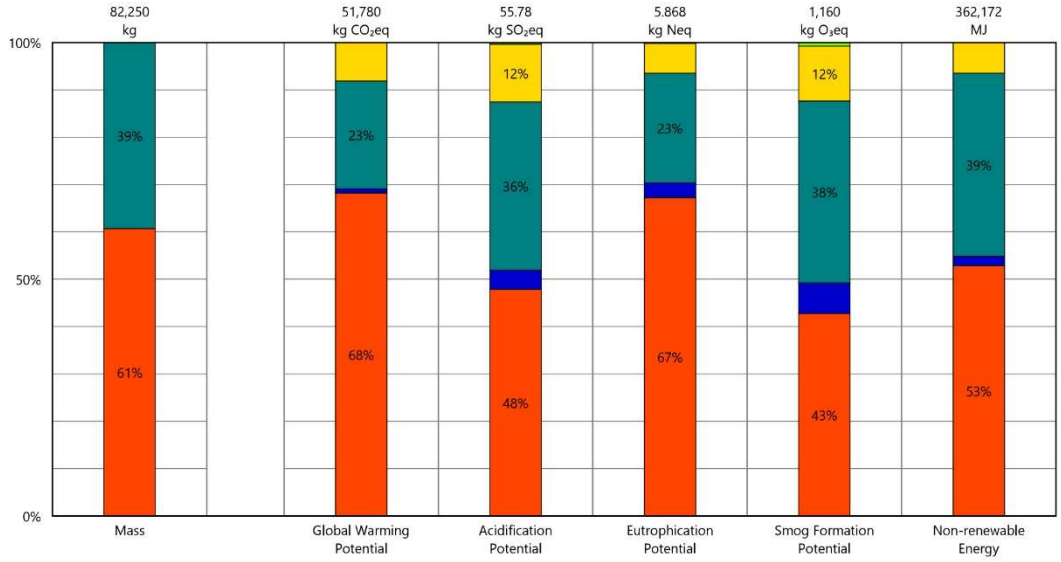
Report Summary

Created with Tally
Non-commercial Version 2023.09.13.01

Author	nihal81531
Company	Düzce Üni.
Date	11.07.2025
Project	MIM / ARC
Location	Düzce
Gross Area	215 m^2
Building Life	70 years
Boundaries	Cradle to grave, inclusive of biogenic carbon; see appendix for a full list of materials and processes

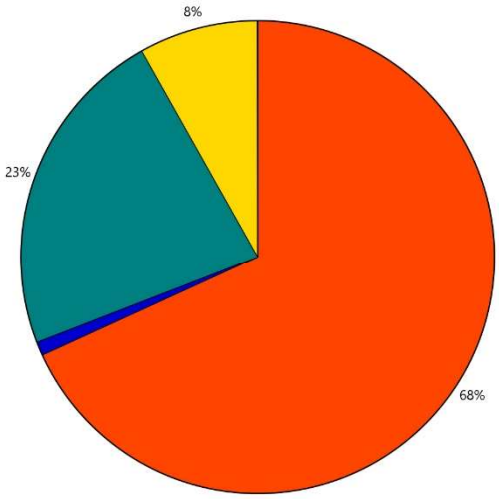
Environmental Impact Totals	**Product Stage [A1-A3]**	**Construction Stage [A4]**	**Use Stage [B2-B5]**	**End of Life Stage [C2-C4]**	**Module D [D]**
Global Warming (kg CO_2eq)	35,300	489.5	11,763	4,204	22.76
Acidification (kg SO_2eq)	26.70	2.268	19.82	6.782	0.2119
Eutrophication (kg Neq)	3.946	0.1847	1.357	0.368	0.01251
Smog Formation (kg O_3eq)	496.1	74.96	445.9	134.6	8.868
Ozone Depletion (kg CFC-11eq)	0.01245	1.677E-011	2.853E-009	2.557E-006	-6.457E-011
Primary Energy (MJ)	206,315	7,119	147,080	24,993	-25.9
Non-renewable Energy (MJ)	191,571	6,949	140,189	23,379	85.19
Renewable Energy (MJ)	14,797	172.1	6,950	1,640	-112
Environmental Impacts / Area					
Global Warming (kg CO_2eq/m^2)	164.2	2.277	54.71	19.55	0.1059
Acidification (kg SO_2eq/m^2)	0.1242	0.01055	0.09217	0.03154	9.857E-004
Eutrophication (kg Neq/m^2)	0.01835	8.591E-004	0.006311	0.001712	5.818E-005
Smog Formation (kg O_3eq/m^2)	2.307	0.3486	2.074	0.6261	0.04125
Ozone Depletion (kg CFC-11eq/m^2)	5.791E-005	7.798E-014	1.327E-011	1.189E-008	-3.003E-013
Primary Energy (MJ/m^2)	959.6	33.11	684.1	116.2	-0.1202
Non-renewable Energy (MJ/m^2)	891.0	32.32	652.0	108.7	0.3962
Renewable Energy (MJ/m^2)	68.82	0.8007	32.33	7.629	-0.5224

Results per Life Cycle Stage



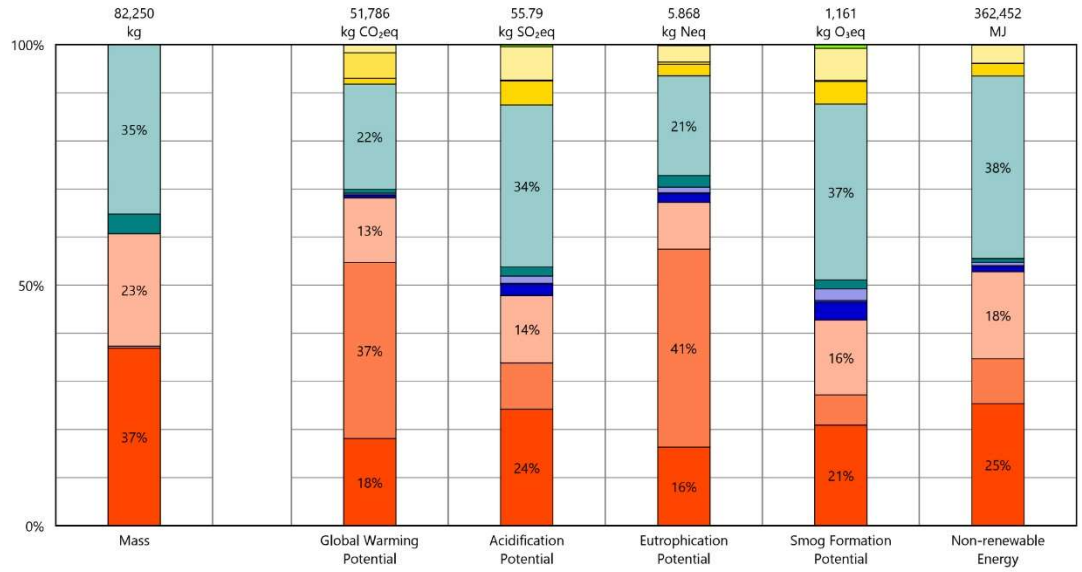
Legend

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



Global Warming Potential

Results per Life Cycle Stage, itemized by Division



Legend

Product [A1-A3]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

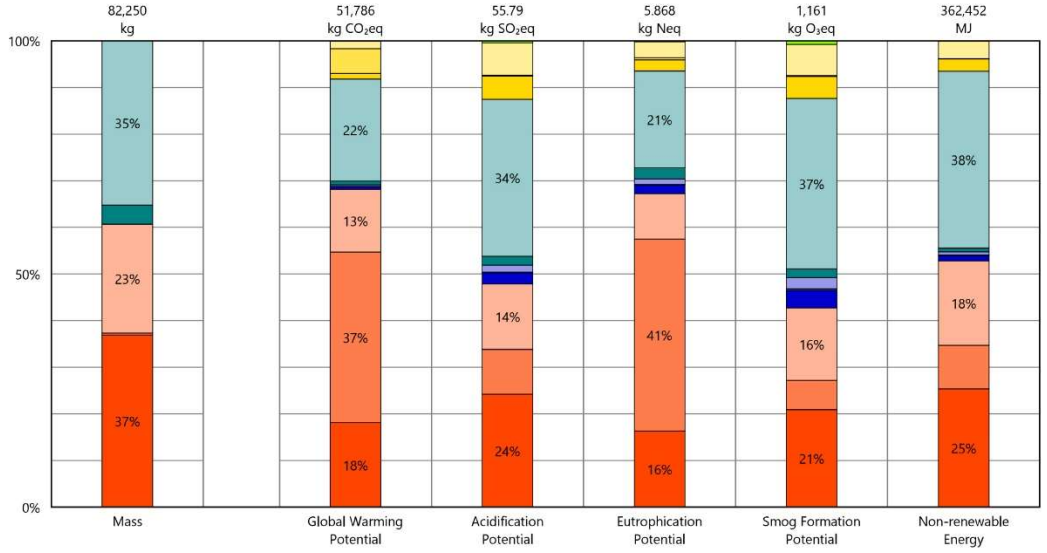
Transportation [A4]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

Maintenance and Replacement [B2-B5]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

End of Life [C2-C4]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

Module D [D]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

Results per Life Cycle Stage, itemized by Division



Legend

Product [A1-A3]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

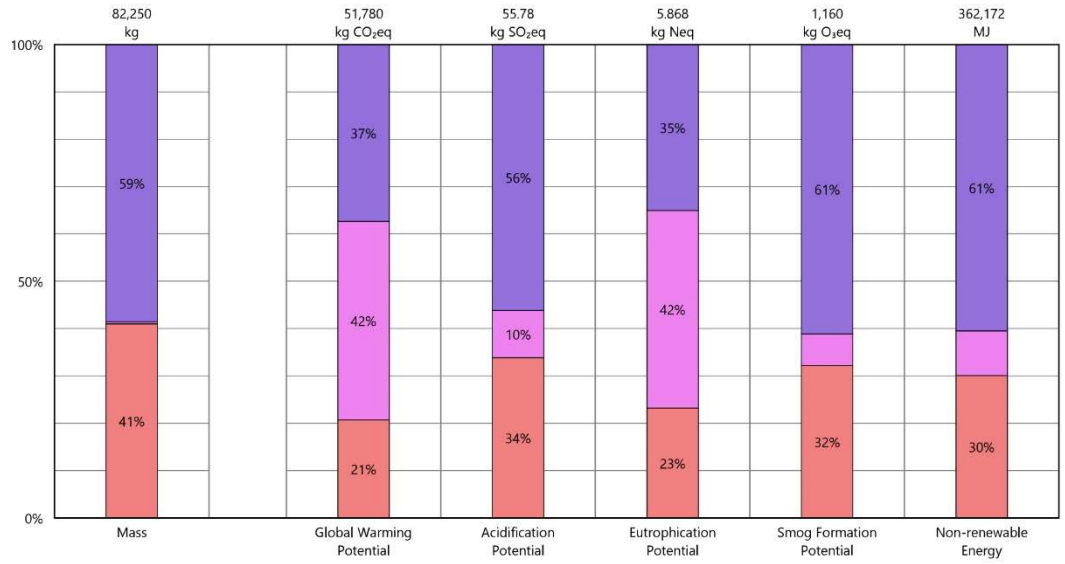
Transportation [A4]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

Maintenance and Replacement [B2-B5]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

End of Life [C2-C4]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

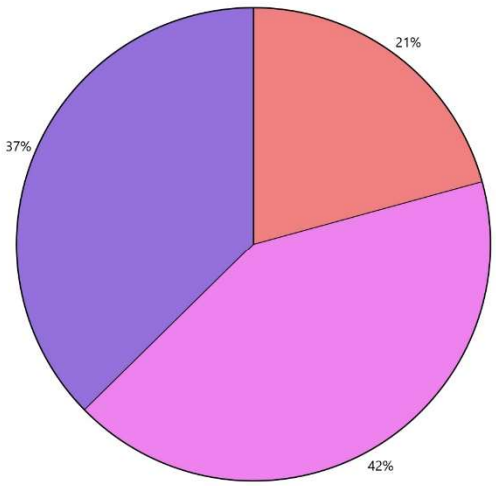
Module D [D]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

Results per Division



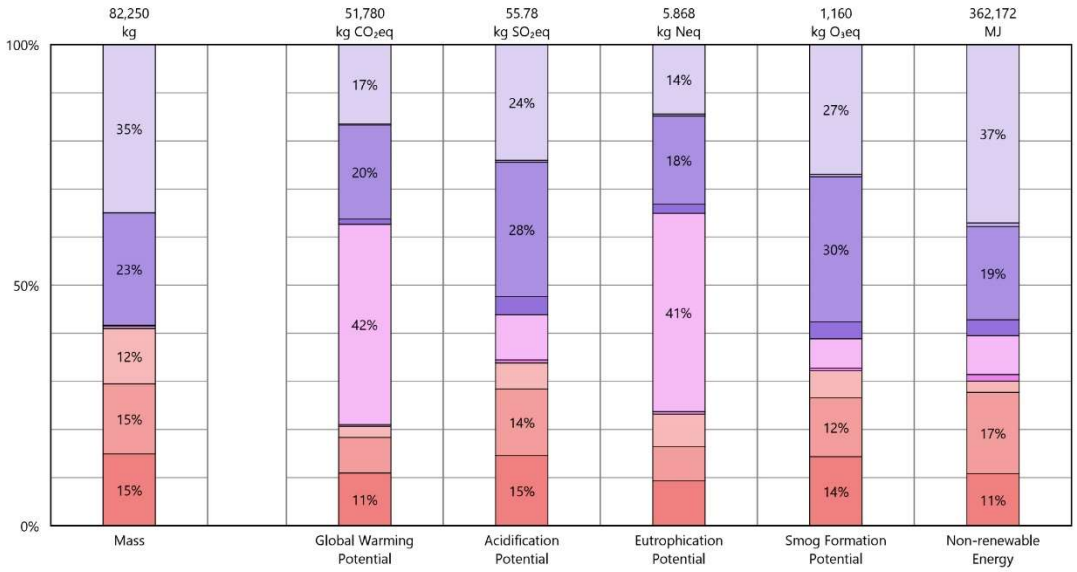
Legend

Divisions
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes



Global Warming Potential

Results per Division, itemized by Material



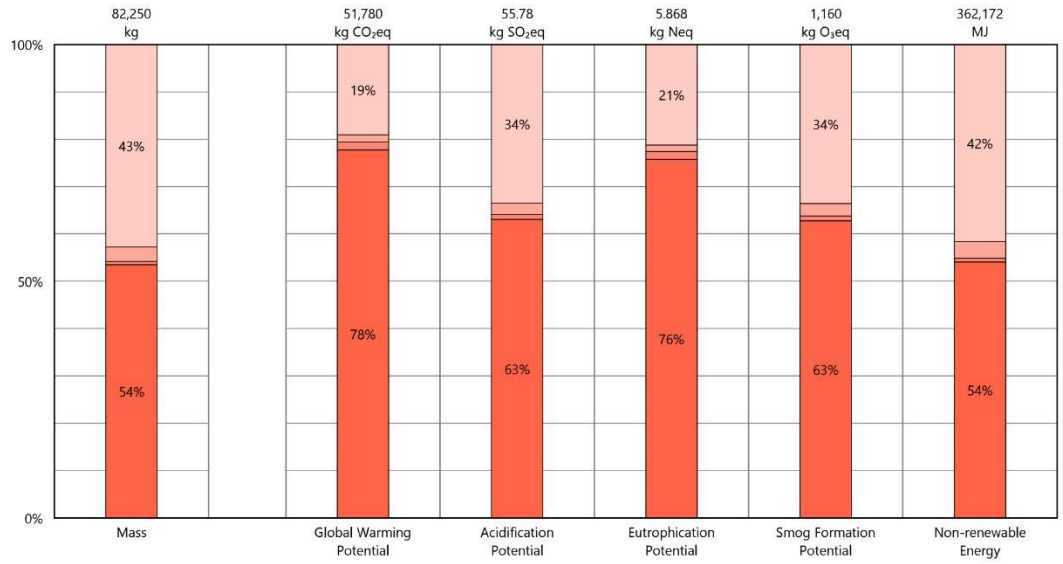
Legend

04 - Masonry
- Autoclaved aerated concrete block (AAC)
- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod | GLO

07 - Thermal and Moisture Protection
- Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE)
- XPS insulation, Foamular average, Owens Corning - EPD (expired)

09 - Finishes
- Paint, interior acrylic latex
- Stucco, portland cement
- Stucco, synthetic
- Wall board, gypsum, natural

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

Walls

- Exterior - Brick wall
- Exterior - Brick wall insulation
- gypsum wall
- Interior brick wall

LCI Data

MODEL ELEMENTS

Revit Categories
Walls

gazbeton 2 tally 2025
Worksets
N/A

Phases
Existing
New Construction

PRODUCT [A1-A3]

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

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

Autoclaved aerated concrete block (AAC) **12,306.2 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 12,306.2 kg (70 yrs*)

Used in the following Tally entries:
Autoclaved aerated concrete block (AAC)

Description:
Autoclaved aerated concrete block (AAC), excludes mortar

Life Cycle Inventory:
60-70% Quartz sand
20-30% Cement (type CEMI)
10-20% Quick lime
2-5% Gypsum

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

Transportation Distance:
By truck: 172 km

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

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

LCI Source:
EU-28: Aerated concrete block ts (2017)

Brick, generic **11,961.1 kg**
Used in the following Revit families:
Interior brick wall 11,961.1 kg (70 yrs*)

Used in the following Tally entries:
Brick

Description:
Common extruded brick, excludes mortar.

Life Cycle Inventory:
100% Fired brick

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

Transportation Distance:
By truck: 172 km

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

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

LCI Source:
DE: Stoneware tiles, unglazed (EN15804 A1-A3) ts (2017)

LCI Data (continued)

Mortar type N **9,459.9 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 2,770.3 kg (70 yrs*)
Interior brick wall 6,689.7 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Autoclaved aerated concrete block (AAC)
Brick

Description:
Mortar Type N (moderate strength mortar) for use in masonry walls and flooring.

Life Cycle Inventory:
Dried mixture: 83% Sand
11% cement
6% limestone (11% water evaporates on drying)

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 172 km

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

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

LCI Source:
DE: Masonry mortar (MG II a) ts (2017)

Paint, interior acrylic latex **221.8 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 76.0 kg (7 yrs)
gypsum wall 19.2 kg (7 yrs)
Interior brick wall 126.6 kg (7 yrs)

Used in the following Tally entries:
Wall board, gypsum

Description:
Acrylic-based paint for interior applications

Life Cycle Inventory:
21% Binding agent
35% Pigments and fillers
42% Water
2% Organic solvents

Product Scope:
Cradle to gate, including emissions during application

Transportation Distance:
By truck: 642 km

End-of-Life Scope:
100% to landfill (plastic waste)

LCI Source:
DE: Application paint emulsion (building, interior, white, wear resistant) ts (2017)

Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE) **59.5 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 57.9 kg (70 yrs)
Exterior - Brick wall insulation 1.6 kg (70 yrs)

Used in the following Tally entries:
Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE)

Description:
Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE) membrane
entry exclusive of adhesive or other co-products

Life Cycle Inventory:
100% Polyethylene film

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 1299 km

End-of-Life Scope:
10.5% Recycled into HDPE
89.5% Landiflled (plastic waste)

Module D Scope:
Avoided burden credit includes processing

LCI Source:
US: Polyethylene High Density Granulate (PE-HD) ts (2017)
GLO: Plastic Film (PE, PP, PVC) ts (2017)
US: Electricity grid mix ts (2014)
US: Thermal energy from natural gas ts (2014)
US: Lubricants at refinery ts (2014)

Steel, reinforcing rod | GLO **0.0 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 0.0 kg (70 yrs)

Used in the following Tally entries:
Autoclaved aerated concrete block (AAC)

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

Life Cycle Inventory:
100% Steel rebar

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 431 km

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

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

LCI Source:
GLO: Steel rebar worldsteel (2014)

Stucco, portland cement **19,177.4 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 18,661.3 kg (60 yrs)
Exterior - Brick wall insulation 516.2 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Portland cement stucco

Description:
Portland cement plastering (stucco), 7/8" (22.25 mm) nominal thickness is typical

Life Cycle Inventory:
100% Light plaster (Silica sand, Portland cement, Calcinated lime)

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 172 km

End-of-Life Scope:
100% Landfilled (inert waste)

LCI Source:
US: Silica sand (Excavation and processing) ts (2017)
US: Portland cement PCA/ts (2015)
US: Lime (CaO) calcination ts (2017)

Stucco, synthetic **37.0 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 36.0 kg (30 yrs)
Exterior - Brick wall insulation 1.0 kg (30 yrs)

Used in the following Tally entries:
Portland cement stucco

Description:
Acrylic latex stucco layer, typically applied over a PVC lath. Base stucco layer with a default thickness of 3/8" (9.5 mm).

Life Cycle Inventory:
90% Acrylic resin
10% Quartz sand
2.2% NMVOC emissions during application

Product Scope:
Cradle to gate, including emissions during application

Transportation Distance:
By truck: 642 km

End-of-Life Scope:
97.8% Solids landfilled (plastic waste)

LCI Source:
DE: Acrylate resin (solvent systems) PE (2015)
US: Silica sand (excavation and processing) ts (2017)

LCI Data (continued)

Wall board, gypsum, natural **28,738.5 kg**

Used in the following Revit families:

Exterior - Brick wall	9,845.0 kg (30 yrs)
gypsum wall	2,489.8 kg (30 yrs)
Interior brick wall	16,403.8 kg (30 yrs)

Used in the following Tally entries:
Wall board, gypsum

Description:
Natural gypsum board

Life Cycle Inventory:
100% Gypsum wallboard (Gypsum, Boric acid, Cement, Glass fibres, Ferrochrome-lignine sulfonate, Silane, Polyglucose, Perlite, Paper, Casein glue)

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 172 km

End-of-Life Scope:
100% Landfilled (inert waste)

LCI Source:
DE: Gypsum wallboard (EN15804 A1-A3) ts (2017)

XPS insulation, Foamular average, Owens Corning - EPD (expired) **288.9 kg**

Used in the following Revit families:

Exterior - Brick wall	281.1 kg (70 yrs)
Exterior - Brick wall insulation	7.8 kg (70 yrs)

Used in the following Tally entries:
Extruded polystyrene (XPS), board

Description:
FOAMULAR XPS (polystyrene) insulation board, HFC foaming agent. EPD representative of US manufacturing condition. FOAMULAR insulation board is available with a variety of R-values and compressive strengths. The default value is based on a thermal resistance of RSI 1 and a compressive strength of 30 psi. If the intended R-value and compressive strength of the assembly is known, use the drop-down menu to designate a specific product.

Life Cycle Inventory:
For information and quantities, see EPD.

Product Scope:
Cradle to gate.
Note: Product stage expanded to include blowing agent emissions during distribution and installation, and diffusion from product over service life (B1). As these impacts make a significant contribution to GWP they have been included in the product stage.

Transportation Distance:
By truck: 1190 km

End-of-Life Scope:
100% Landfilled (plastic waste), includes blowing agent emissions released during disposal

LCI Source:
(Newer data point available. Redefining this material is recommended.)

EPD Source:
4788721182.101.1

EPD Designation Holder:
Owens Corning

EPD Program Operator:
UL Environment

EPD Expiration:
1.01.2024

8.5.4. Bims Blok Çekirdekli Kompozit Duvara Ait Veriler

MIM / ARC

Full building summary

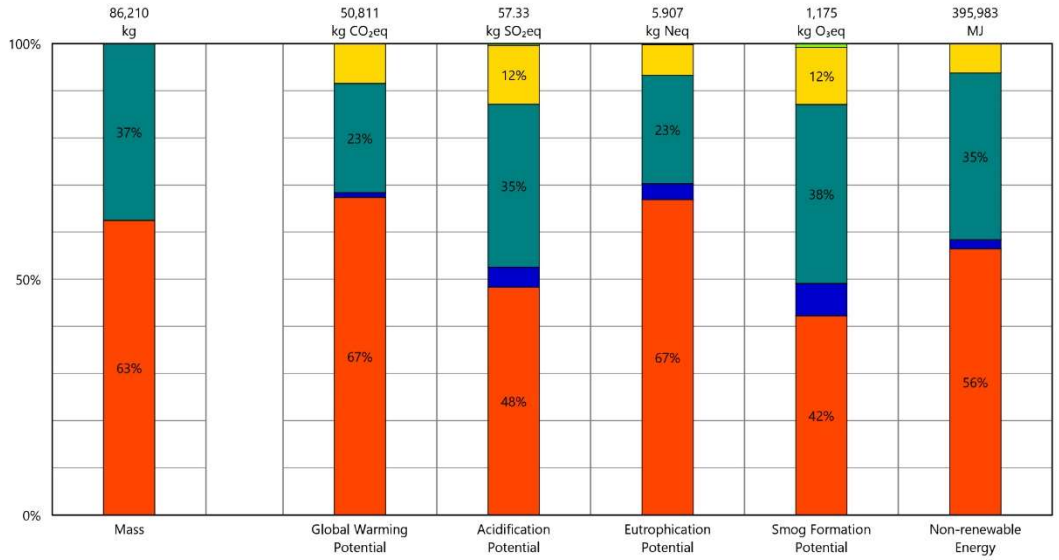
Report Summary

Created with Tally
Non-commercial Version 2023.09.13.01

Author	nihal81531
Company	Düzce Üni.
Date	11.07.2025
Project	MIM / ARC
Location	Düzce
Gross Area	215 m²
Building Life	70 years
Boundaries	Cradle to grave, inclusive of biogenic carbon; see appendix for a full list of materials and processes

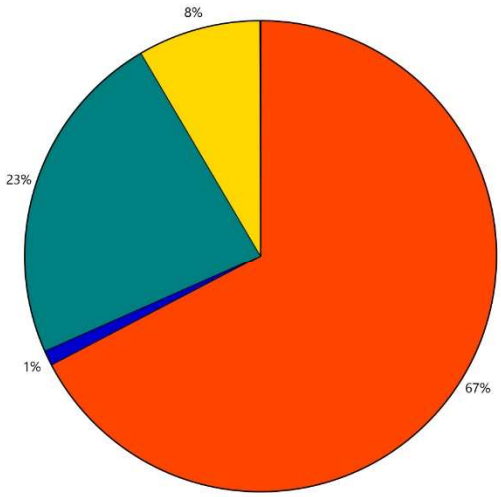
Environmental Impact Totals	**Product Stage [A1-A3]**	**Construction Stage [A4]**	**Use Stage [B2-B5]**	**End of Life Stage [C2-C4]**	**Module D [D]**
Global Warming (kg CO_2eq)	34,213	526.7	11,763	4,282	26.20
Acidification (kg SO_2eq)	27.69	2.441	19.82	7.144	0.238
Eutrophication (kg Neq)	3.951	0.1987	1.357	0.3864	0.01398
Smog Formation (kg O_3eq)	496.7	80.65	445.9	141.8	9.945
Ozone Depletion (kg CFC-11eq)	0.01245	1.804E-011	2.853E-009	2.557E-006	-7.225E-011
Primary Energy (MJ)	235,783	7,660	147,080	26,336	3.805
Non-renewable Energy (MJ)	223,555	7,476	140,189	24,634	128.0
Renewable Energy (MJ)	12,190	185.2	6,950	1,729	-126
Environmental Impacts / Area					
Global Warming (kg CO_2eq/m²)	159.1	2.450	54.71	19.92	0.1219
Acidification (kg SO_2eq/m²)	0.1288	0.01135	0.09217	0.03323	0.001107
Eutrophication (kg Neq/m²)	0.01838	9.243E-004	0.006311	0.001797	6.503E-005
Smog Formation (kg O_3eq/m²)	2.310	0.3751	2.074	0.6596	0.04626
Ozone Depletion (kg CFC-11eq/m²)	5.791E-005	8.391E-014	1.327E-011	1.189E-008	-3.360E-013
Primary Energy (MJ/m²)	1,097	35.63	684.1	122.5	0.0177
Non-renewable Energy (MJ/m²)	1,040	34.77	652.0	114.6	0.5951
Renewable Energy (MJ/m²)	56.70	0.8615	32.33	8.041	-0.5841

Results per Life Cycle Stage



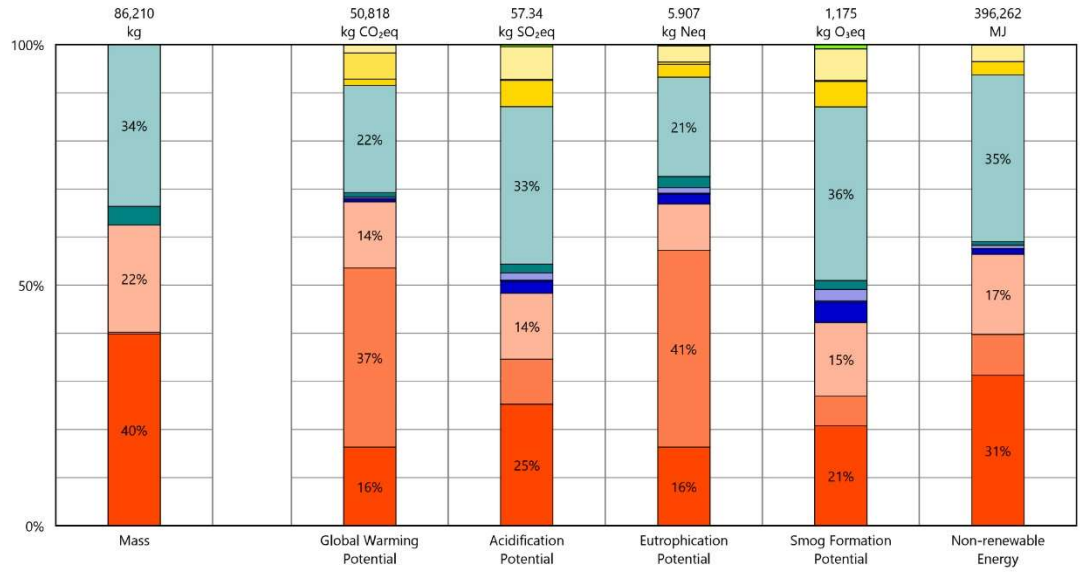
Legend

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



Global Warming Potential

Results per Life Cycle Stage, itemized by Division



Legend

Product [A1-A3]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

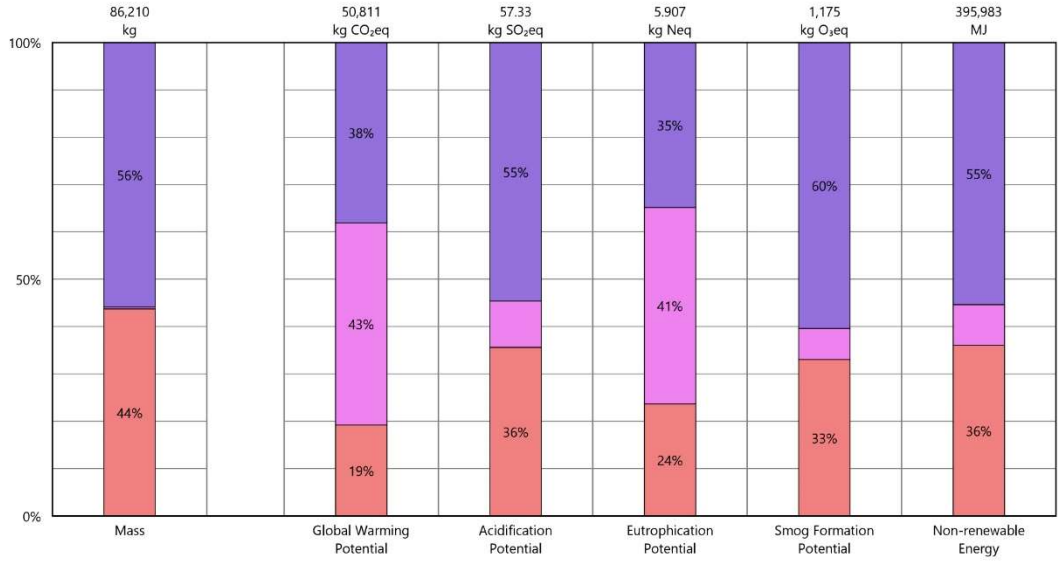
Transportation [A4]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

Maintenance and Replacement [B2-B5]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

End of Life [C2-C4]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

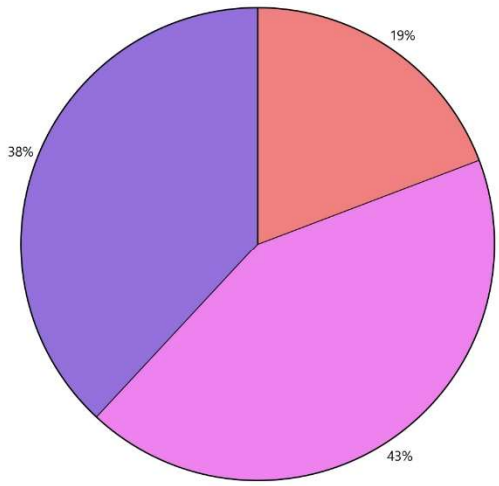
Module D [D]
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

Results per Division



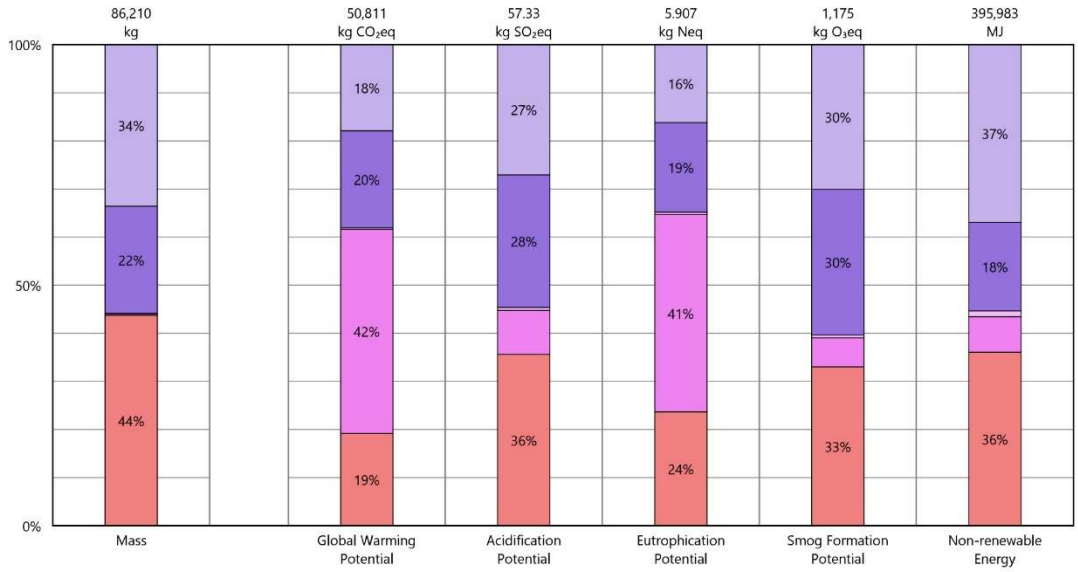
Legend

Divisions
- 04 - Masonry
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes



Global Warming Potential

Results per Division, itemized by Tally Entry



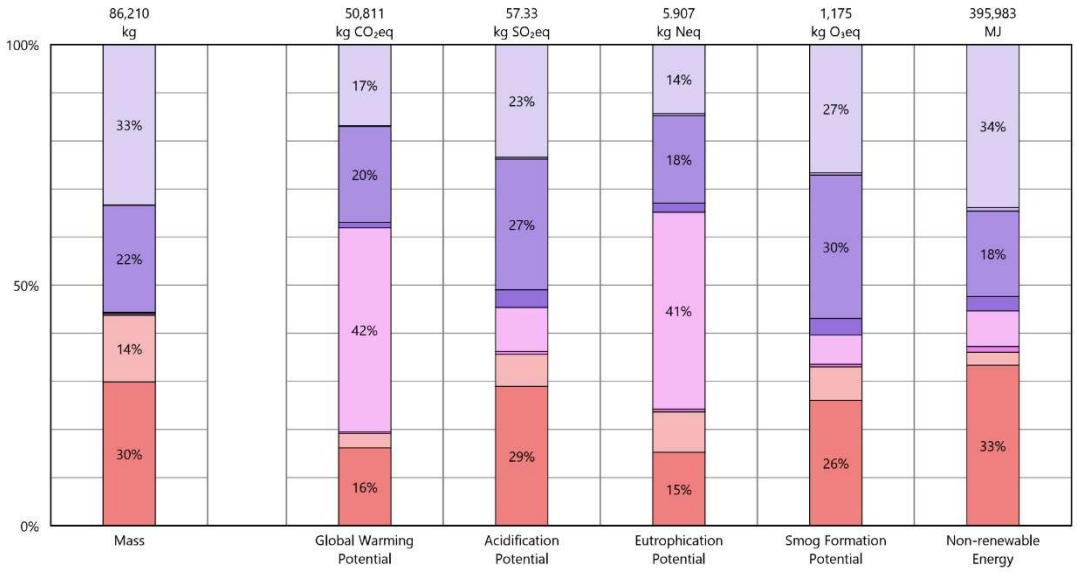
Legend

04 - Masonry
- Brick

07 - Thermal and Moisture Protection
- Extruded polystyrene (XPS), board
- Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE)

09 - Finishes
- Portland cement stucco
- Wall board, gypsum

Results per Division, itemized by Material



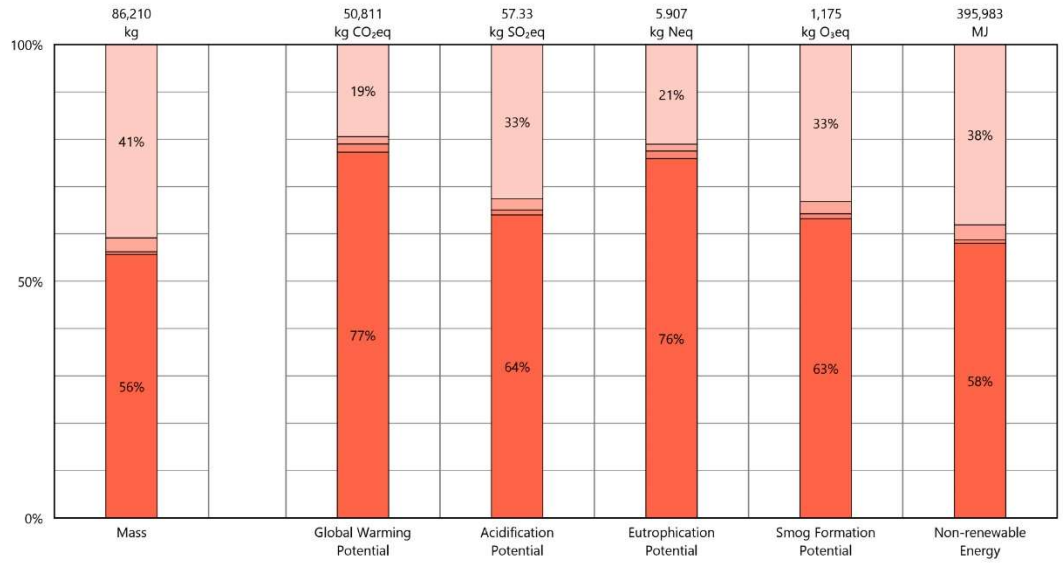
Legend

04 - Masonry
- Brick, generic
- Mortar type N

07 - Thermal and Moisture Protection
- Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE)
- XPS insulation, Foamular average, Owens Corning - EPD (expired)

09 - Finishes
- Paint, interior acrylic latex
- Stucco, portland cement
- Stucco, synthetic
- Wall board, gypsum, natural

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

Walls

- Exterior - Brick wall
- Exterior - Brick wall insulation
- gypsum wall
- Interior brick wall

LCI Data

MODEL ELEMENTS

Revit Categories
Walls

bims 2 tally 2025
Worksets
N/A

Phases
Existing
New Construction

PRODUCT [A1-A3]

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

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

Brick, generic **25,805.6 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 13,844.5 kg (70 yrs*)
Interior brick wall 11,961.1 kg (70 yrs*)

Used in the following Tally entries:
Brick

Description:
Common extruded brick, excludes mortar.

Life Cycle Inventory:
100% Fired brick

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

Transportation Distance:
By truck: 172 km

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

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

LCI Source:
DE: Stoneware tiles, unglazed (EN15804 A1-A3) ts (2017)

Mortar type N **11,881.3 kg**
Used in the following Revit families:
Exterior - Brick wall 5,191.7 kg (70 yrs*)
Interior brick wall 6,689.7 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Brick

Description:
Mortar Type N (moderate strength mortar) for use in masonry walls and flooring.

Life Cycle Inventory:
Dried mixture: 83% Sand
11% cement
6% limestone (11% water evaporates on drying)

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 172 km

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

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

LCI Source:
DE: Masonry mortar (MG II a) ts (2017)

LCI Data (continued)

Paint, interior acrylic latex **221.8 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 76.0 kg (7 yrs)
- gypsum wall 19.2 kg (7 yrs)
- Interior brick wall 126.6 kg (7 yrs)

Used in the following Tally entries:
Wall board, gypsum

Description:
Acrylic-based paint for interior applications

Life Cycle Inventory:
21% Binding agent
35% Pigments and fillers
42% Water
2% Organic solvents

Product Scope:
Cradle to gate, including emissions during application

Transportation Distance:
By truck: 642 km

End-of-Life Scope:
100% to landfill (plastic waste)

LCI Source:
DE: Application paint emulsion (building, interior, white, wear resistant) ts (2017)

Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE) **59.5 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 57.9 kg (70 yrs)
- Exterior - Brick wall insulation 1.6 kg (70 yrs)

Used in the following Tally entries:
Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE)

Description:
Polyethelene sheet vapor barrier (HDPE) membrane
entry exclusive of adhesive or other co-products

Life Cycle Inventory:
100% Polyethylene film

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 1299 km

End-of-Life Scope:
10.5% Recycled into HDPE
89.5% Landifflled (plastic waste)

Module D Scope:
Avoided burden credit includes processing

LCI Source:
US: Polyethylene High Density Granulate (PE-HD) ts (2017)
GLO: Plastic Film (PE, PP, PVC) ts (2017)
US: Electricity grid mix ts (2014)
US: Thermal energy from natural gas ts (2014)
US: Lubricants at refinery ts (2014)

Stucco, portland cement **19,177.4 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 18,661.3 kg (60 yrs)
- Exterior - Brick wall insulation 516.2 kg (60 yrs)

Used in the following Tally entries:
Portland cement stucco

Description:
Portland cement plastering (stucco), 7/8" (22.25 mm) nominal thickness is typical

Life Cycle Inventory:
100% Light plaster (Silica sand, Portland cement, Calcinated lime)

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 172 km

End-of-Life Scope:
100% Landfilled (inert waste)

LCI Source:
US: Silica sand (Excavation and processing) ts (2017)
US: Portland cement PCA/ts (2015)
US: Lime (CaO) calcination ts (2017)

Stucco, synthetic **37.0 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 36.0 kg (30 yrs)
- Exterior - Brick wall insulation 1.0 kg (30 yrs)

Used in the following Tally entries:
Portland cement stucco

Description:
Acrylic latex stucco layer, typically applied over a PVC lath. Base stucco layer with a default thickness of 3/8" (9.5 mm).

Life Cycle Inventory:
90% Acrylic resin
10% Quartz sand
2.2% NMVOC emissions during application

Product Scope:
Cradle to gate, including emissions during application

Transportation Distance:
By truck: 642 km

End-of-Life Scope:
97.8% Solids landfilled (plastic waste)

LCI Source:
DE: Acrylate resin (solvent systems) PE (2015)
US: Silica sand (excavation and processing) ts (2017)

Wall board, gypsum, natural **28,738.5 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 9,845.0 kg (30 yrs)
- gypsum wall 2,489.8 kg (30 yrs)
- Interior brick wall 16,403.8 kg (30 yrs)

Used in the following Tally entries:
Wall board, gypsum

Description:
Natural gypsum board

Life Cycle Inventory:
100% Gypsum wallboard (Gypsum, Boric acid, Cement, Glass fibres, Ferrochrome-lignine sulfonate, Silane, Polyglucose, Perlite, Paper, Casein glue)

Product Scope:
Cradle to gate

Transportation Distance:
By truck: 172 km

End-of-Life Scope:
100% Landfilled (inert waste)

LCI Source:
DE: Gypsum wallboard (EN15804 A1-A3) ts (2017)

XPS insulation, Foamular average, Owens Corning - EPD (expired) **288.9 kg**

Used in the following Revit families:
- Exterior - Brick wall 281.1 kg (70 yrs)
- Exterior - Brick wall insulation 7.8 kg (70 yrs)

Used in the following Tally entries:
Extruded polystyrene (XPS), board

Description:
FOAMULAR XPS (polystyrene) insulation board, HFC foaming agent. EPD representative of US manufacturing condition. FOAMULAR insulation board is available with a variety of R-values and compressive strengths. The default value is based on a thermal resistance of RSI 1 and a compressive strength of 30 psi. If the intended R-value and compressive strength of the assembly is known, use the drop-down menu to designate a specific product.

Life Cycle Inventory:
For information and quantities, see EPD.

Product Scope:
Cradle to gate.
Note: Product stage expanded to include blowing agent emissions during distribution and installation, and diffusion from product over service life (B1). As these impacts make a significant contribution to GWP they have been included in the product stage.

Transportation Distance:
By truck: 1190 km

End-of-Life Scope:
100% Landfilled (plastic waste), includes blowing agent emissions released during disposal

LCI Source:
(Newer data point available. Redefining this material is recommended.)

LCI Data (continued)

EPD Source:
4788721182.101.1

EPD Designation Holder:
Owens Corning

EPD Program Operator:
UL Environment

EPD Expiration:
1.01.2024

8.6. EK 6: REVIT YAZILIMININ TALLY EKLENTİSİNDEN BULUNAN VERİLERİN İŞLENMESİ

8.6.1. Tüm İç Duvarlar için Tally Çevresel Etki verileri

Revit eklentisi Tally'e göre Toplam İç Kil Tuğla Çekirdekli Duvar Cinsinin Çevresel Etkileri Toplamları

Küresel Isınma Potansiyeli (kg CO_2-eşd.)	5153.415
Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (kg CFC-11-eşd.)	1.04E-09
Toprak ve Suyun Asidifikasyon Potansiyeli (kg SO_2-eşd.)	7.929962
Ötrofikasyon Potansiyeli (kg (N)-eşd.)	0.518803
Duman Oluşumu Potansiyeli (kg O_3-eşd.)	142.8398
Yenilenebilir Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	4762.257
Yenilenemeyen Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	78826.05
Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi (MJ)	83601.29
Kütle toplamı (kg)	20786.48

8.6.2. Tüm Dış Kil Tuğla Duvar Model için Tally Çevresel Etki verilerinin TRACI sisteminin CML sistemine göre 1 m³ Başına Düşenin Hesaplanması

Dış Duvar Çekirdek Hacmi	30.7665	m³
Kil Tuğla Yoğunluğu	700	kg/m³

A1-A3 Arası Toplam Çevresel Etkiler	Toplam kg	1 m³ Başına Düşen kg
Küresel Isınma Potansiyeli (kg CO_2-eşd.)	33005.584	1072.777
Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (kg CFC-11-eşd.)	0.012	0.000
Toprak ve Suyun Asidifikasyon Potansiyeli (kg SO_2-eşd.)	27.977	0.909
Ötrofikasyon Potansiyeli (kg N-eşd.)	3.992	0.130
Duman Oluşumu Potansiyeli (kg O_3-eşd.)	480.658	15.623
Yenilenebilir Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	10841.216	352.371
Yenilenemeyen Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	221120.205	7187.045
Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi (MJ)	232005.622	7540.852
Kütle toplamı (kg)	42152.886	1370.090

8.6.3. Tüm Dış Gazbeton Blok Duvar Model için Tally Çevresel Etki verilerinin TRACI sisteminin CML sistemine göre 1 m³ Başına Düşenin Hesaplanması

Dış Duvar Çekirdek Hacmi	30.7665	m³
Gazbeton Blok Yoğunluğu	400	kg/m³

A1-A3 Arası Toplam Çevresel Etkiler	Toplam kg	1 m³ Başına Düşen kg
Küresel Isınma Potansiyeli (kg CO_2-eşd.)	30400.571	988.106
Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (kg CFC-11-eşd.)	0.012	0.000
Toprak ve Suyun Asidifikasyon Potansiyeli (kg SO_2-eşd.)	19.347	0.629
Ötrofikasyon Potansiyeli (kg (N)-eşd.)	3.471	0.113
Duman Oluşumu Potansiyeli (kg O_3-eşd.)	361.582	11.752
Yenilenebilir Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	10196.282	331.409
Yenilenemeyen Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	119594.268	3887.159
Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi (MJ)	129712.696	4216.037
Kütle toplamı (kg)	29234.857	950.217

8.6.4. Tüm Dış Bims Blok Duvar Model için Tally Çevresel Etki verilerinin TRACI sisteminin CML sistemine göre 1 m³ Başına Düşenin Hesaplanması

Dış Duvar Çekirdek Hacmi	30.7665	m³
Bims Blok Yoğunluğu	450	kg/m³

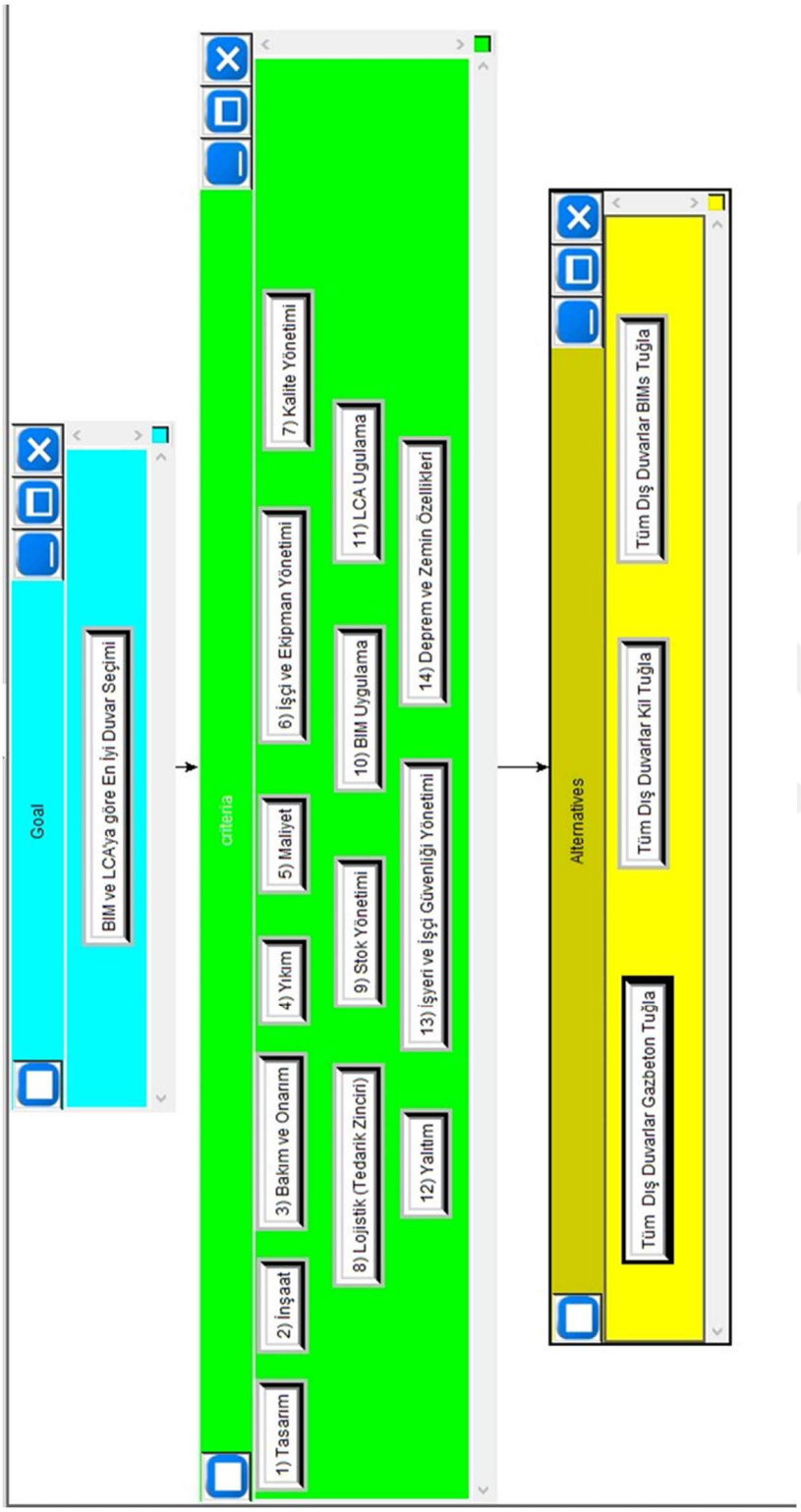
A1-A3 Arası Toplam Çevresel Etkiler	Toplam kg	1 m³ Başına Düşen kg
Küresel Isınma Potansiyeli (kg CO_2-eşd.)	30700.456	997.853
Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (kg CFC-11-eşd.)	0.012	0.000
Toprak ve Suyun Asidifikasyon Potansiyeli (kg SO_2-eşd.)	23.960	0.779
Ötrofikasyon Potansiyeli (kg (N)-eşd.)	3.761	0.122
Duman Oluşumu Potansiyeli (kg O_3-eşd.)	413.668	13.445
Yenilenebilir Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	8401.664	273.078
Yenilenemeyen Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	184912.890	6010.202
Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi (MJ)	193343.373	6284.217
Kütle toplamı (kg)	33630.840	1093.099

8.6.5. Tüm Dış Duvar Çekirdek Modellerinin için Tally Çevresel Etki verilerinin TRACI sisteminin CML sistemine göre 1 m³ Başına Düşenin Hesaplarının Karşılaştırması

A1-A3 Arası Toplam Çevresel Etkiler	**Kil Tuğla**	**Gazbeton Blok**	**Bims Blok**
Küresel Isınma Potansiyeli (kg CO_2-eşd.)	1072.777	988.106	997.853
Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli (kg CFC-11-eşd.)	0.000	0.000	0.000
Toprak ve Suyun Asidifikasyon Potansiyeli (kg SO_2-eşd.)	0.909	0.629	0.779
Ötrofikasyon Potansiyeli (kg N-eşd.)	0.130	0.113	0.122
Duman Oluşumu Potansiyeli (kg O_3-eşd.)	15.623	11.752	13.445
Yenilenebilir Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	352.371	331.409	273.078
Yenilenemeyen Enerji Tüketimi Potansiyeli (MJ)	7187.045	3887.159	6010.202
Birincil Enerji Kaynağı Tüketimi (MJ)	7540.852	4216.037	6284.217
Kütle toplamı (kg)	1370.090	950.217	1093.099

8.7. EK 7: AHP YÖNTEMİ ÇALIŞMASI SİSTEMİ

8.7.1. AHP için Superdecisions Programının Kullanılması



8.7.2. Uzmanlara Uygulanan Anket Çalışması Bilgileri ve Analizi

8.7.2.1. Uzman Anket Bilgilendirme Sayfası

ANKET ÇALIŞMASI SORU FORMU

Bu anket çalışması, Düzce üniversitesi Kompozit malzeme teknolojileri bölümünde Doktora öğrencisi Nihal Benli tarafından yapılmaktadır. Uzman görüşü almak için yapılmaktadır.

Bu anket çalışmasının amacı, İnşaat proje yönetiminde kullanılacak malzemenin belirlenmesi ve proje yönetiminde **Yapı Bilgi Modellemenin (BIM)** ve **Yaşam Döngü Analizi (LCA)** çerçevesinde oluşan etmenlerin incelenmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden **Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP)** kullanılması durum tespiti yapılmasıdır. Matriste bulunan faktörler; her bir satırda yer alan sağdaki ve soldaki faktörlerden hangisinin eşit veya baskın olan kuvvetlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Kıyaslamalarda seçtiğiniz baskınlık derecesi yani rakamı Sarı Dolguyla doldurunuz.

Doldurduğunuz anketleri aşağıdaki Katılımcı bölümünü girerek lütfen [redacted] adresine ya da Whatapps'dan [redacted] numaraya gönderiniz.

AHP karşılaştırmalarda kullanılan önem dereceleri tablosu

Önem derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	Her iki faktör **aynı öneme** sahiptir
3	Orta derecede önemli	Bir faktör diğerine göre **biraz daha önem**lidir.
5	Kuvvetli derecede önemli	Bir faktör diğerinden **kuvvetle daha önem**lidir.
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir faktör diğerine göre **yüksek derecede daha önem**lidir.
9	Mutlak derecede önemli	Bir faktör diğerine göre **çok yüksek derecede daha önem**lidir.
2,4,6,8	Ara değerleri temsil etmektedir.	iki faktör arasında tercihte yukarıdaki açıklamalarda derecelerin **ara değer**lerdir
Karşılıklı değerler	i,j ile karşılaştırken bir değer **(x)** atanmışsa; j,i ile karşılaştırılmasında atanacak değer **(1/x)**olacaktır.	

Katılımcı

Ad - Soyad:

Ünvan:

Örnek 1.

A ve B arasında kıyaslama yapmak istiyorsunuz. A nın önemi size göre 7 ve B'nın önemi 9 ise bunların birbirinden farkı, diğerine göre büyük önem taşıyan B'ye yanında 2'e 1 eklenerek 3 işaretlenecektir. 1 eklemenin nedeni ikisinin eşit algılanmaması içindir.

A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	**3**	4	5	6	7	8	9	B

Örnek 2.

A ve B arasında kıyaslama yapmak istiyorsunuz. A nın önemi size göre 9 ve B'nın önemi yok yani 0 ise bunların birbirinden farkı, diğerine göre büyük önem taşıyan A'ye yanında 9 olarak işaretlenecektir.

A	**9**	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B

Örnek 3.

A ve B arasında kıyaslama yapmak istiyorsunuz. A nın önemi size göre 5 ve B'nın önemi 5 ise bunların birbirinden farkı 0 olacak, yani ikisi de eşit öneme sahip o zaman ise 1 seçeneği işaretlenecektir.

A	9	8	7	6	5	4	3	2	**1**	2	3	4	5	6	7	8	9	B

8.7.2.2. Anket Kriterlerinin Kıyaslama Tablosu

Not: karşılaştırmalarda katılımcıların yanıtları 1 rakamı ise eşit ağırlığa sahip demektir ve değerlendirmede sarı renge boyanmıştır.1 rakamının sol tarafında kalan kriter ağırlıklıysa değerlendirme de pozitif olarak mavi renge boyanmıştır. Eğer 1 rakamının sağında ise değer negatif olarak kırmızı renge boyanmıştır.

Kriterlerin Karşılaştırma Değerleri

1	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2) İnşaat
2	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3)Bakım ve onarım
3	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4) Yıkım
4	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5) Maliyet
5	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6) İşçi ve Ekipman yönetimi
6	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7) Kalite yönetimi
7	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8) Lojistik (tedarik zinciri)
8	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9) Stok yönetimi
9	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10) BIM uygulama
10	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11) LCA uygulama
11	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
12	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
13	1) Tasarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
14	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3)Bakım ve onarım
15	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4) Yıkım
16	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5) Maliyet
17	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6) İşçi ve Ekipman yönetimi
18	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7) Kalite yönetimi
19	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8) Lojistik (tedarik zinciri)
20	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9) Stok yönetimi
21	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10) BIM uygulama
22	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11) LCA uygulama
23	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
24	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
25	2) İnşaat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
26	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4) Yıkım
27	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5) Maliyet
28	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6) İşçi ve Ekipman yönetimi
29	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7) Kalite yönetimi
30	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8) Lojistik (tedarik zinciri)
31	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9) Stok yönetimi
32	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10) BIM uygulama
33	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11) LCA uygulama
34	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
35	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
36	3)Bakım ve onarım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
37	4) Yıkım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5) Maliyet
38	4) Yıkım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6) İşçi ve Ekipman yönetimi
39	4) Yıkım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7) Kalite yönetimi
40	4) Yıkım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8) Lojistik (tedarik zinciri)
41	4) Yıkım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9) Stok yönetimi
42	4) Yıkım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10) BIM uygulama
43	4) Yıkım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11) LCA uygulama
44	4) Yıkım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
45	4) Yıkım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
46	4) Yıkım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
47	5) Maliyet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6) İşçi ve Ekipman yönetimi
48	5) Maliyet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7) Kalite yönetimi
49	5) Maliyet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8) Lojistik (tedarik zinciri)
50	5) Maliyet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9) Stok yönetimi
51	5) Maliyet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10) BIM uygulama
52	5) Maliyet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11) LCA uygulama
53	5) Maliyet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
54	5) Maliyet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
55	5) Maliyet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
56	6) İşçi ve Ekipman yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7) Kalite yönetimi
57	6) İşçi ve Ekipman yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8) Lojistik (tedarik zinciri)
58	6) İşçi ve Ekipman yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9) Stok yönetimi
59	6) İşçi ve Ekipman yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10) BIM uygulama
60	6) İşçi ve Ekipman yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11) LCA uygulama
61	6) İşçi ve Ekipman yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
62	6) İşçi ve Ekipman yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
63	6) İşçi ve Ekipman yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri

64	7) Kalite yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8) Lojistik (tedarik zinciri)
65	7) Kalite yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9) Stok yönetimi
66	7) Kalite yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10) BIM uygulama
67	7) Kalite yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11) LCA uygulama
68	7) Kalite yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
69	7) Kalite yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
70	7) Kalite yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
71	8) Lojistik (tedarik zinciri)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9) Stok yönetimi
72	8) Lojistik (tedarik zinciri)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10) BIM uygulama
73	8) Lojistik (tedarik zinciri)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11) LCA uygulama
74	8) Lojistik (tedarik zinciri)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
75	8) Lojistik (tedarik zinciri)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
76	8) Lojistik (tedarik zinciri)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
77	9) Stok yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10) BIM uygulama
78	9) Stok yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11) LCA uygulama
79	9) Stok yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
80	9) Stok yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
81	9) Stok yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
82	10) BIM uygulama	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11) LCA uygulama
83	10) BIM uygulama	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
84	10) BIM uygulama	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
85	10) BIM uygulama	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
86	11) LCA uygulama	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12) Yalıtım
87	11) LCA uygulama	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
88	11) LCA uygulama	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
89	12) Yalıtım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi
90	12) Yalıtım	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri
91	13) İşyeri ve işçi güvenliği yönetimi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	14) Deprem ve zemin özellikleri

8.7.2.3. Kriterlere Göre Değerlendirilmesi

*

1 **Tasarım** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

2 **İnşaat** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

3 **Bakım ve Onarım** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

4 **Yıkım** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

5 **Maliyet** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

6 **İşçi ve Ekipman** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

7 **Kalite Yönetimi** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

8 **Lojistik (Tedarik zinciri)** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

9 **Stok Yönetimi** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

10 **BIM uygulama** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

11 **LCA uygulama** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

12 **Yalıtım** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

13 **İşyeri ve İşçi güvenliği** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

14 **Deprem ve Zemin özellikleri** Kriterine Göre Alternatiflerin Önceliği

no	Alternatiflerin Kıyaslanması																	
1	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar Kil Tuğla
2	Tüm Duvarlar GazBetonla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla
3	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tüm Duvarlar BİMs Tuğla

8.7.2.4. Anket Uygulanan Uzmanların Cevaplarının Değerlendirilmesi

Not: üst bölümde anlatılan renklendirme işlemi sonucunda toplam ve ortalamalara ulaşılmıştır. Son sütunda ise işlenecek veriler bulunmaktadır.

UNVAN	Akademisyen	Akademisyen	Akademisyen	Akademisyen	Akademisyen	Mimar	İnşaat Müh.	Mimar	İnşaat Müh.	inşaat Müh.	inşaat Müh.	inşaat Müh.	inşaat Müh.	Mimar	Mimar	İnşaat Müh.	İnşaat Müh.	İnşaat Müh.	İnşaat Müh.	Mimar	Mimar	Mimar			
no	Katılımcı 1	Katılımcı 2	Katılımcı 3	Katılımcı 4	Katılımcı 5	Katılımcı 6	Katılımcı 7	Katılımcı 8	Katılımcı 9	Katılımcı 10	Katılımcı 11	Katılımcı 12	Katılımcı 13	Katılımcı 14	Katılımcı 15	Katılımcı 16	Katılımcı 17	Katılımcı 18	Katılımcı 19	Katılımcı 20	Katılımcı 21	Katılımcı 22	Toplam	Ortalama	işlenecek veri
1	1	7	-2	-2	1	1	5	1	-9	-5	-5	-2	-7	-3	2	-3	-9	-3	-6	5	-4	4	-33	-2	-2
2	7	6	2	2	7	-2	4	3	9	4	-3	-2	-5	-4	5	-5	-9	-9	-6	4	-2	7	13	0.6	1
3	8	5	4	2	8	1	5	4	8	4	7	9	8	-3	8	-4	-9	-9	-6	4	6	5	65	3	
4	3	5	2	2	7	-6	1	7	1	-3	2	3	-4	1	3	-4	-9	1	-8	7	4	7	16	0.7	1
5	4	-3	2	2	8	-8	4	5	1	-3	2	-2	-2	-4	6	1	-9	1	-5	4	-3	8	9	0.4	1
6	6	2	3	1	8	-3	1	8	9	-3	1	1	1	-6	3	-3	-9	-3	-7	-5	-5	7	6	0.3	1
7	-2	4	3	1	7	1	1	4	-9	8	1	1	4	-3	-3	1	-8	1	-7	-5	1	8	8	0.4	1
8	-2	6	2	1	8	1	1	5	8	3	1	1	4	-2	-3	3	-8	-2	-7	5	3	6	36	1.6	
9	-6	3	1	-2	7	-5	1	3	-9	-8	1	1	-2	-5	-5	-5	-3	-2	-2	1	-2	3	-39	-2	-2
10	-4	5	1	-2	7	-9	1	3	-9	-6	1	1	4	-5	-6	-4	-8	-2	-2	1	-3	8	-32	-1	-2
11	5	-3	1	-2	8	1	-4	5	1	-2	-2	-2	-5	-6	-8	-2	-9	-3	-3	-3	4	6	-28	-1	-2
12	-3	-6	3	1	6	1	-9	3	1	-5	6	6	-6	-4	-7	-4	-9	-9	-8	-6	-3	3	-50	-2	-2
13	4	-7	3	-2	-7	1	-9	1	-9	-8	-8	-8	-9	-8	-9	-7	-9	-9	-9	-8	-8	-4	-130	-6	-6
14	8	4	3	-3	8	1	5	3	9	8	3	1	8	-5	2	5	8	-7	-4	-2	-5	5	53	2.4	
15	7	5	3	1	9	4	8	3	9	8	8	8	8	-6	6	5	7	7	2	-5	7	4	109	5	
16	-4	-5	1	2	8	1	-5	5	1	-3	3	3	3	-3	3	4	7	8	-3	-5	6	2	21	1	1
17	2	1	1	2	8	1	5	3	9	-2	3	3	5	-6	4	3	8	6	1	-5	4	-3	52	2.4	
18	3	4	1	2	6	1	-5	3	1	-2	1	1	8	-6	2	3	8	-9	-2	-7	7	-5	12	0.5	1
19	5	-3	1	3	8	1	-4	1	7	8	1	1	4	-4	-3	6	-3	-7	-6	1	2	1	14	0.6	1
20	6	-2	1	2	8	1	4	3	9	3	1	1	5	-3	-2	6	-3	-3	-6	-2	6	4	39	1.8	1
21	-7	-3	2	2	8	-9	5	5	7	8	1	1	3	-6	-4	3	8	-2	1	-2	7	6	24	1.1	1
22	-6	-4	1	2	8	-9	2	3	1	5	-5	1	4	6	-2	3	-7	-2	1	-4	8	7	6	0.3	1
23	6	-4	1	3	4	-5	1	5	1	9	8	-5	2	-7	-2	5	-7	-7	4	-6	-3	3	4	0.2	1
24	-5	-7	1	3	1	1	1	1	7	8	1	8	2	-3	-7	1	-9	-9	-7	-8	-8	1	-31	-1	-2
25	-7	-8	1	3	-4	-9	1	3	-9	1	1	1	2	-8	-9	-5	-9	-9	-8	-8	-8	-5	-94	-4	-4
26	2	7	1	1	2	1	1	5	9	3	9	9	8	1	3	-5	-3	3	6	5	8	6	90	4.1	
27	-6	-8	1	1	1	1	-6	5	1	-6	1	1	-4	1	-4	1	6	3	-4	4	5	-5	-11	-1	1
28	-5	-6	1	1	3	1	-5	3	1	-6	9	3	-4	-3	-7	1	6	-3	-3	1	3	3	0	0	1
29	3	-3	3	1	3	1	-7	1	1	-6	4	4	-7	-4	-8	1	6	-3	-3	7	-6	-4	-15	-1	1
30	5	-2	1	1	6	1	1	1	6	1	5	5	-7	-3	-7	5	5	5	-3	5	5	-5	23	1	1
31	4	4	1	3	4	1	4	3	6	3	3	3	-3	2	-6	2	-3	3	3	4	6	-4	44	2	
32	-4	-3	-2	3	-6	-5	-3	5	1	-7	6	6	-8	1	-8	1	5	3	3	1	5	-4	-10	-0	1
33	-4	-4	-2	2	-6	-5	3	3	1	-6	2	2	-6	1	-5	1	3	3	3	1	4	1	-8	-0	1
34	5	-6	-2	1	-5	1	1	3	1	-3	1	1	-9	-3	-6	3	3	-5	3	-3	5	-2	-16	-1	1
35	-8	-8	1	2	1	1	1	3	8	-6	7	7	-7	-2	-8	-5	-9	-9	-2	1	-7	3	-38	-2	-2
36	-9	-9	2	2	-9	1	-4	5	-9	-6	-9	-9	-9	-5	-9	-8	-9	-9	-2	2	-4	-6	-113	-5	-5
37	-8	-6	1	1	-8	1	-5	3	1	-4	6	6	-9	3	-9	5	2	-3	-3	-3	-4	-5	-35	-2	-2
38	-7	-4	1	1	-5	1	-2	3	1	-4	-6	-6	-6	1	-6	5	-3	3	-3	-4	-6	-6	-52	-2	-2
39	-5	-2	1	1	-6	1	-4	3	1	-4	2	2	-5	-4	-7	6	-5	3	-3	-4	-7	-7	-41	-2	-2
40	3	-2	1	1	-5	1	1	3	7	3	-9	-9	-4	3	-5	7	-3	3	-3	-5	-3	-3	-16	-1	1
41	-3	2	1	2	-5	1	4	3	7	-3	-9	-9	-8	-2	-6	7	6	3	-3	-3	-3	-6	-22	-1	1
42	-6	-5	1	1	-9	1	1	3	-9	-9	-3	-3	-9	-4	-8	4	6	3	-4	-5	-8	-2	-62	-3	-3
43	-6	-6	1	1	-9	1	1	1	1	-8	-2	-2	-8	-4	-7	4	6	3	-5	-4	-7	1	-46	-2	-2
44	-4	-5	-2	1	-9	1	1	1	1	-4	1	1	-9	-5	-5	6	6	9	-4	-3	-4	-4	-30	-1	-2
45	-9	-8	-2	1	-9	1	1	1	1	-7	-6	-6	-6	-3	-8	-6	-9	-9	-5	-4	-8	-6	-106	-5	-5
46	-9	-9	-2	1	-9	1	-6	1	-9	-7	1	1	-9	-6	-9	-6	-9	-9	-6	-3	-7	-8	-118	-5	-5
47	7	4	1	1	8	5	5	1	1	-5	9	9	6	-4	5	-5	-4	-3	-4	-7	2	1	33	1.5	
48	6	6	1	1	8	1	-4	1	1	-3	-3	-3	3	-5	7	-4	-5	3	2	-6	-5	2	3	0.1	1
49	4	7	-2	-2	8	5	1	1	1	4	5	5	4	-3	4	-3	-3	3	3	-7	-4	-3	28	1.3	1
50	3	6	1	1	8	5	4	1	1	4	3	3	4	-2	2	-3	-3	3	3	-5	-2	2	39	1.8	
51	1	-2	1	1	8	1	4	1	-7	-3	2	2	5	-4	5	-4	8	3	3	-5	-3	5	13	0.6	1

no	UNVAN	Katılımcı 1	Katılımcı 2	Katılımcı 3	Katılımcı 4	Katılımcı 5	Katılımcı 6	Katılımcı 7	Katılımcı 8	Katılımcı 9	Katılımcı 10	Katılımcı 11	Katılımcı 12	Katılımcı 13	Katılımcı 14	Katılımcı 15	Katılımcı 16	Katılımcı 17	Katılımcı 18	Katılımcı 19	Katılımcı 20	Katılımcı 21	Katılımcı 22	Toplam	Ortalama	işlenecek veri
52	Akademisyen	1	-4	2	-2	4	-5	4	-3	-7	-3	2	2	6	-4	7	-4	-3	3	3	-6	-4	6	-5	-0	1
53	Akademisyen	7	-4	2	1	7	-8	3	-3	1	3	-9	-9	7	-5	3	-3	-6	-5	3	-4	-2	-3	-29	-1	1
54	Akademisyen	3	-7	2	2	-7	1	1	-5	-2	-4	5	5	2	-3	-4	-6	-9	-9	3	-7	-6	-5	-49	-2	-2
55	Akademisyen	5	-8	1	3	-9	1	1	-7	-9	1	-7	-7	-9	-7	-9	-8	-9	-9	4	-6	-7	-8	-104	-5	-5
56	Akademisyen	-3	6	1	1	-8	1	-2	1	-9	3	-9	-9	1	-3	1	6	-5	-2	4	2	4	-5	-22	-1	1
57	Akademisyen	-2	1	-2	1	4	1	4	1	1	3	-7	-7	6	-3	-2	7	3	-2	4	-2	6	-2	13	0.6	1
58	Akademisyen	-3	4	1	1	6	1	4	1	1	3	-6	-6	5	-5	-3	6	-3	-2	3	1	7	-3	17	0.8	1
59	Mimar	-5	-3	-3	-2	-7	-5	1	-3	-9	-4	-9	-9	4	-4	-5	1	7	-2	1	3	3	1	-50	-2	-2
60	İnşaat Müh.	-3	-4	1	2	-7	-5	1	-3	-5	-3	-9	-9	1	-4	4	1	7	-2	1	1	3	2	-24	-1	1
61	Mimar	4	-4	2	2	-6	1	1	-3	-7	5	-9	-9	-7	-5	3	1	7	-9	5	3	3	-6	-27	-1	1
62	İnşaat Müh.	-7	-2	-2	1	-9	1	-2	-5	-7	-5	1	1	-6	-3	-6	-5	-9	-9	-6	-2	-6	-7	-94	-4	-4
63	İnşaat Müh.	-4	-8	-2	1	-9	-5	-2	-5	-9	-4	-9	-9	-8	-9	-8	-5	-9	-9	-4	-2	-7	-8	-134	-6	-6
64	İnşaat Müh.	6	-2	2	2	6	1	-2	1	5	1	3	3	-4	1	-3	5	3	-5	5	2	6	5	42	1.9	2
65	İnşaat Müh.	4	1	2	1	6	1	4	1	7	1	4	4	-2	-6	4	6	3	3	4	-2	7	4	69	3.1	3
66	İnşaat Müh.	-4	-3	2	1	-5	-5	4	-3	-9	-6	5	5	-3	-5	-4	6	-3	-3	2	1	4	-2	-25	-1	1
67	İnşaat Müh.	-3	-4	1	-2	-5	-5	4	-3	-7	-6	5	5	2	1	3	6	-3	-3	5	-2	4	2	-5	-0	1
68	İnşaat Müh.	5	-4	-2	1	-4	3	1	-3	-5	1	-9	-9	-8	-4	-5	4	-3	-5	2	-2	2	-5	-44	-2	-2
69	Mimar	-6	-8	1	2	-7	1	-4	-3	-7	-6	4	4	-9	-3	-7	-3	-9	-9	4	1	-5	-7	-76	-3	-4
70	Mimar	3	-9	1	2	-9	-4	-4	-3	-9	-6	-7	-7	-9	-6	-8	-5	-9	-9	-4	-2	-6	-8	-118	-5	-6
71	Mimar	5	3	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	-4	2	1	-2	-3	-3	1	-4	3	-2	13	0.6	1
72	İnşaat Müh.	1	-4	-2	1	-7	-5	-2	-3	-7	-9	1	1	4	-4	3	-3	3	7	1	-5	-4	2	-31	-1	-2
73	İnşaat Müh.	-2	-5	-3	2	-7	-5	-2	-3	-7	-8	1	1	2	-5	4	-3	-3	-7	1	-4	-4	2	-51	-2	-2
74	İnşaat Müh.	4	-4	3	2	-7	1	-2	-3	1	1	-9	-9	-9	-7	3	-4	-5	-6	4	-4	2	1	-49	-2	-2
75	Mimar	-5	-6	-4	2	-9	1	-3	-5	-7	-7	3	3	-6	-5	2	-6	-9	-9	-4	-5	-7	-5	-91	-4	-4
76	Mimar	-7	-8	-4	2	-9	-4	-3	-7	-9	-5	-7	-7	-9	-8	4	-8	-9	-9	-5	-6	-7	-8	-133	-6	-6
77	İnşaat Müh.	-6	-6	2	1	-8	-6	-4	-3	-7	-9	3	3	-5	-5	2	-4	-2	5	1	-2	-6	5	-51	-2	-3
78	İnşaat Müh.	-3	-5	2	-2	-8	-5	-4	-3	-5	-8	3	3	-5	-6	-3	-4	-7	-7	1	1	-5	6	-64	-3	-3
79	İnşaat Müh.	-4	-5	2	2	-8	1	-4	-3	-7	1	-7	-7	-9	-7	4	-5	-6	-7	4	2	2	2	-58	-3	-3
80	Mimar	-8	-7	1	1	-9	1	-4	-5	-3	-7	1	1	-7	-8	-6	-8	-9	-9	-5	1	-7	-5	-101	-5	-5
81	Mimar	-9	-8	1	1	-9	-4	-4	-5	-9	-5	-4	-4	-9	-9	-8	-8	-9	-9	-6	2	-8	-8	-131	-6	-6
82	Mimar	4	2	1	1	4	1	1	1	3	3	1	1	4	1	6	-4	-5	-7	3	-4	3	6	40	1.8	2
83	Mimar	8	4	1	1	-3	3	1	3	3	3	-7	-7	-9	1	4	-4	-5	-7	3	-4	7	3	15	0.7	1
84	İnşaat Müh.	-5	-2	-2	2	-5	1	1	-3	3	3	-7	-7	-6	-3	-3	-5	-9	-9	4	-6	-5	1	-50	-2	-2
85	İnşaat Müh.	-7	-3	-2	2	-8	1	1	-3	-9	3	-6	-6	-9	-5	-8	-6	-9	-9	-5	-7	-6	1	-94	-4	-4
86	İnşaat Müh.	6	-3	3	-2	-4	4	-3	3	1	7	-9	-9	-9	-3	4	-5	-5	7	-2	-2	1	-3	-25	-1	1
87	İnşaat Müh.	-6	-5	1	-2	-5	1	-3	-3	1	7	-9	-9	-8	-4	-4	-7	-9	-9	-5	-3	-5	-4	-90	-4	-4
88	İnşaat Müh.	-8	-7	-2	-2	-9	1	-3	-5	-9	7	9	-9	-9	-7	-8	-7	-9	-9	-4	1	-6	-7	-102	-5	-5
89	İnşaat Müh.	-9	-4	1	1	-8	2	1	-5	-5	-9	9	8	1	-2	-8	-6	-9	-9	-5	-5	7	-5	-58	-3	-3
90	İnşaat Müh.	-9	-6	1	1	-9	-3	1	-5	-9	-6	9	8	1	-5	-7	-8	-9	-9	-7	-8	-8	-4	-90	-4	-4
91	İnşaat Müh.	-7	-4	1	1	-9	-3	1	1	-9	-4	-8	-8	-3	-6	1	1	-9	-3	-7	-8	8	-3	-82	-4	-4

Not: bu veriler üste veya alta yuvarlama yapılarak bulunmuşlardır. Mesela; -1 çıktığında 1 rakamı ele alınmıştır. 0 çıkanlarda 1 rakamı olarak ele alınmıştır. Bunlar harici en yakın rakamlara yuvarlanmışlardır.

8.7.2.5. SuperDecısıon Programının Verdiği Sonuçlar

	BIM VE LCA 'YA GÖRE EN İYİ DUVAR SEÇİMİ		
	İSİMLER	**Normalized By Cluster**	**Limiting**
ALTER-NATİFLER	Tüm Duvarlar Gazbeton Tuğla	0.384	0.192
	Tüm Duvarlar Kil Tuğla	0.301	0.150
	Tüm Duvarlar BIMs Tuğla	0.315	0.157

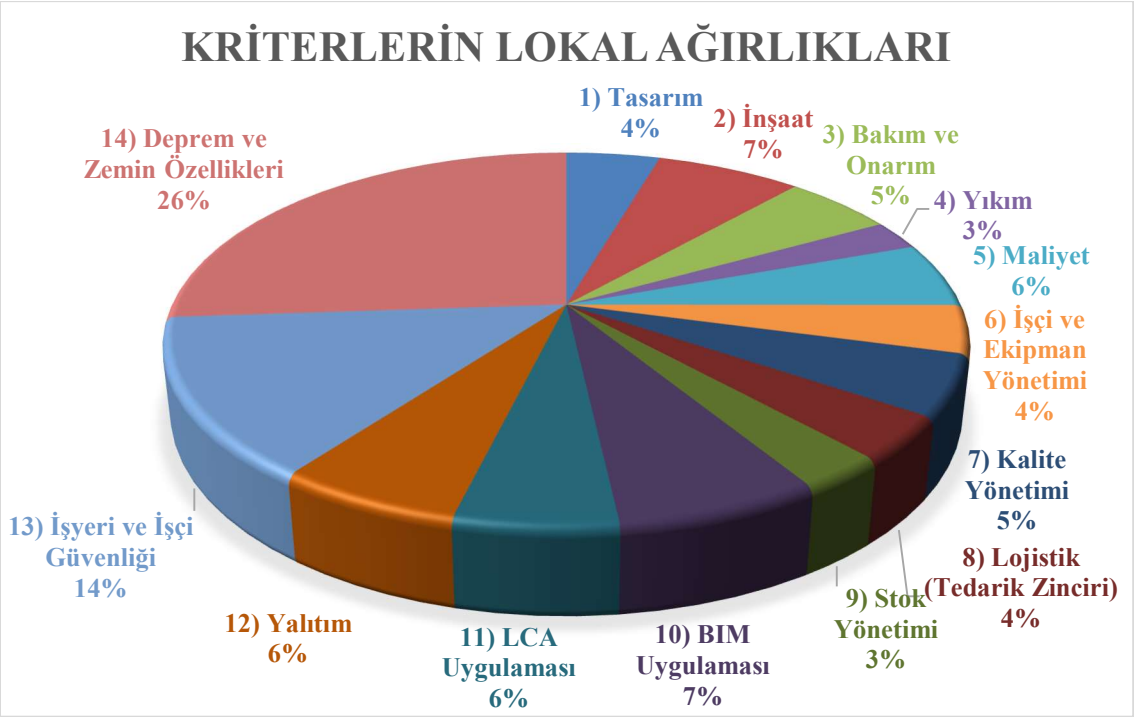
KRİTERLER	1) Tasarım	0.045	0.023
	2) İnşaat	0.070	0.035
	3) Bakım ve Onarım	0.053	0.027
	4) Yıkım	0.025	0.013
	5) Maliyet	0.056	0.028
	6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	0.041	0.021
	7) Kalite Yönetimi	0.053	0.026
	8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	0.038	0.019
	9) Stok Yönetimi	0.030	0.015
	10) BIM Uygulaması	0.070	0.035
	11) LCA Uygulaması	0.056	0.028
	12) Yalıtım	0.064	0.032
	13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	0.137	0.069
	14) Deprem ve Zemin Özellikleri	0.261	0.130

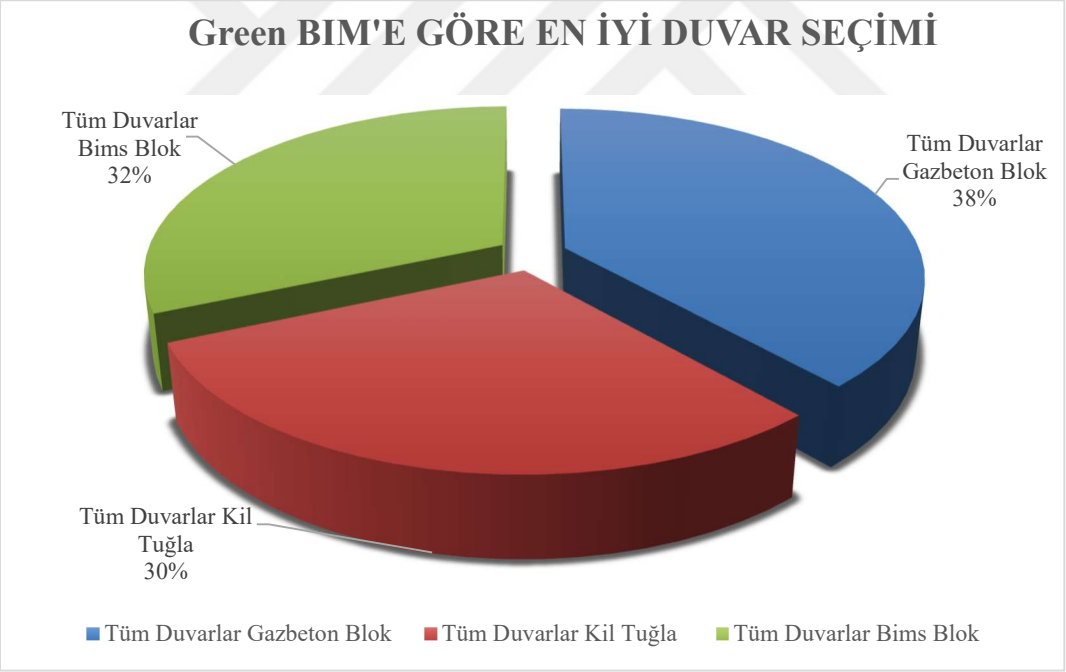
İnşaat Kriterlerine göre Büyükten Küçüğe Sıralaması	Ağırlıklar
14) Deprem ve Zemin Özellikleri	0,261
13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	0,137
2) İnşaat	0,070
10) BIM Uygulaması	0,070
12) Yalıtım	0,064
11) LCA Uygulaması	0,056
5) Maliyet	0,056
3) Bakım ve Onarım	0,053
7) Kalite Yönetimi	0,053
1) Tasarım	0,045
6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	0,041
8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	0,038
9) Stok Yönetimi	0,030
4) Yıkım	0,025

TUTARLIKIK DERECESİ

Inconsistency	0.03218

Tutarsızlık Miktarı %10'dan Küçük Olduğu İçin Araştırma Tutarlı Kabul Edilmiştir.


KRİTERLERİN LOKAL AĞIRLIKLARI
1) Tasarım 4%
2) İnşaat 7%
3) Bakım ve Onarım 5%
4) Yıkım 3%
5) Maliyet 6%
6) İşçi ve Ekipman Yönetimi 4%
7) Kalite Yönetimi 5%
8) Lojistik (Tedarik Zinciri) 4%
9) Stok Yönetimi 3%
10) BIM Uygulaması 7%
11) LCA Uygulaması 6%
12) Yalıtım 6%
13) İşyeri ve İşçi Güvenliği 14%
14) Deprem ve Zemin Özellikleri 26%


Green BIM'E GÖRE EN İYİ DUVAR SEÇİMİ
Tüm Duvarlar Bims Blok 32%
Tüm Duvarlar Gazbeton Blok 38%
Tüm Duvarlar Kil Tuğla 30%
Tüm Duvarlar Gazbeton Blok
Tüm Duvarlar Kil Tuğla
Tüm Duvarlar Bims Blok

8.7.2.6. Excel'de Superdecision Programının Sağlamasının Yapılması

ANKET SONUÇLARINDAN OLUŞAN SUPERDECISION'A GEÇEN SONUÇLAR MATRİSİ

	1) Tasarım	2) İnşaat	3) Bakım ve Onarım	4) Yıkım	5) Maliyet	6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	7) Kalite Yönetimi	8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	9) Stok Yönetimi	10) BIM Uygulaması	11) LCA Uygulaması	12) Yalıtım	13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	14) Deprem ve Zemin Özellikleri
1) Tasarım	1	0.5	1	3	1	1	1	1	2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.17
2) İnşaat	2	1	3	5	1	2	1	1	1	1	1	1	0.5	0.25
3) Bakım ve Onarım	1	0.33	1	4	1	1	1	1	2	1	1	1	0.5	0.2
4) Yıkım	0.33	0.20	0.25	1	0.5	0.5	0.5	1	1	0.33	0.5	0.5	0.2	0.2
5) Maliyet	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	0.5	0.2
6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	1	0.5	1	2	0.5	1	1	1	1	0.5	1	1	0.25	0.17
7) Kalite Yönetimi	1	1	1	2	1	1	1	2	3	1	1	0.5	0.25	0.17
8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	0.25	0.17
9) Stok Yönetimi	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.33	1	1	0.33	0.33	0.33	0.2	0.17
10) BIM Uygulaması	2	1	1	3	1	2	1	2	3	1	2	1	0.5	0.25
11) LCA Uygulaması	2	1	1	2	1	1	1	2	3	0.5	1	1	0.25	0.2
12) Yalıtım	2	1	1	2	1	2	2	2	3	1	1	1	0.33	0.25
13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	2	2	2	5	2	4	4	4	5	2	4	3	1	0.25
14) Deprem ve Zemin Özellikleri	6	4	5	5	5	6	6	6	6	4	5	4	4	1

SÜTUN TOPLAMLARI

	1) Tasarım	2) İnşaat	3) Bakım ve Onarım	4) Yıkım	5) Maliyet	6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	7) Kalite Yönetimi	8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	9) Stok Yönetimi	10) BIM Uygulaması	11) LCA Uygulaması	12) Yalıtım	13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	14) Deprem ve Zemin Özellikleri
1) Tasarım	1	0.5	1	3	1	1	1	1	2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.17
2) İnşaat	2	1	3	5	1	2	1	1	1	1	1	1	0.5	0.25
3) Bakım ve Onarım	1	0.33	1	4	1	1	1	1	2	1	1	1	0.5	0.2
4) Yıkım	0.33	0.20	0.25	1	0.5	0.5	0.5	1	1	0.33	0.5	0.5	0.2	0.2
5) Maliyet	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	0.5	0.2
6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	1	0.5	1	2	0.5	1	1	1	1	0.5	1	1	0.25	0.17
7) Kalite Yönetimi	1	1	1	2	1	1	1	2	3	1	1	0.5	0.25	0.17
8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	0.25	0.17
9) Stok Yönetimi	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.33	1	1	0.33	0.33	0.33	0.2	0.17
10) BIM Uygulaması	2	1	1	3	1	2	1	2	3	1	2	1	0.5	0.25
11) LCA Uygulaması	2	1	1	2	1	1	1	2	3	0.5	1	1	0.25	0.2
12) Yalıtım	2	1	1	2	1	1	2	2	3	1	1	1	0.33	0.25
13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	2	2	2	5	2	4	4	4	5	2	4	3	1	0.25
14) Deprem ve Zemin Özellikleri	6	4	5	5	5	6	6	6	6	4	5	4	4	1
TOPLAM:	22.8	15.5	19.8	38	17.5	24.5	21.3	26	34	14.7	19.8	16.3	9.23	3.65

NORMALİZE EDİLMİŞ MATRİX

	1) Tasarım	2) İnşaat	3) Bakım ve Onarım	4) Yıkım	5) Maliyet	6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	7) Kalite Yönetimi	8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	9) Stok Yönetimi	10) BIM Uygulaması	11) LCA Uygulaması	12) Yalıtım	13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	14) Deprem ve Zemin Özellikleri
1) Tasarım	0.04	0.03	0.05	0.08	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05
2) İnşaat	0.09	0.06	0.15	0.13	0.06	0.08	0.05	0.04	0.03	0.07	0.05	0.06	0.05	0.07
3) Bakım ve Onarım	0.04	0.02	0.05	0.11	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05
4) Yıkım	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05
5) Maliyet	0.04	0.06	0.05	0.05	0.06	0.08	0.05	0.04	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05
6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	0.04	0.03	0.05	0.05	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05
7) Kalite Yönetimi	0.04	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.08	0.09	0.07	0.05	0.03	0.03	0.05
8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	0.04	0.06	0.05	0.03	0.06	0.04	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05
9) Stok Yönetimi	0.02	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05
10) BIM Uygulaması	0.09	0.06	0.05	0.08	0.06	0.08	0.05	0.08	0.09	0.07	0.1	0.06	0.05	0.07
11) LCA Uygulaması	0.09	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.08	0.09	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05
12) Yalıtım	0.09	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.09	0.08	0.09	0.07	0.05	0.06	0.04	0.07
13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	0.09	0.13	0.1	0.13	0.11	0.16	0.19	0.15	0.15	0.14	0.2	0.18	0.11	0.07
14) Deprem ve Zemin Özellikleri	0.26	0.26	0.25	0.13	0.29	0.24	0.28	0.23	0.18	0.27	0.25	0.24	0.43	0.27
TOPLAM:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ÖNCELİKLER VEKTÖRÜNÜN HESABI

	1) Tasarım	2) İnşaat	3) Bakım ve Onarım	4) Yıkım	5) Maliyet	6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	7) Kalite Yönetimi	8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	9) Stok Yönetimi	10) BIM Uygulaması	11) LCA Uygulaması	12) Yalıtım	13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	14) Deprem ve Zemin Özellikleri	ortalama
1) Tasarım	0.04	0.03	0.05	0.08	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.046
2) İnşaat	0.09	0.06	0.15	0.13	0.06	0.08	0.05	0.04	0.03	0.07	0.05	0.06	0.05	0.07	0.071
3) Bakım ve Onarım	0.04	0.02	0.05	0.11	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05	0.054
4) Yıkım	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05	0.026
5) Maliyet	0.04	0.06	0.05	0.05	0.06	0.08	0.05	0.04	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05	0.056
6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	0.04	0.03	0.05	0.05	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.042
7) Kalite Yönetimi	0.04	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.08	0.09	0.07	0.05	0.03	0.03	0.05	0.053
8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	0.04	0.06	0.05	0.03	0.06	0.04	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.038
9) Stok Yönetimi	0.02	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03
10) BIM Uygulaması	0.09	0.06	0.05	0.08	0.06	0.08	0.05	0.08	0.09	0.07	0.1	0.06	0.05	0.07	0.07
11) LCA Uygulaması	0.09	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.08	0.09	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.057
12) Yalıtım	0.09	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.09	0.08	0.09	0.07	0.05	0.06	0.04	0.07	0.064
13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	0.09	0.13	0.1	0.13	0.11	0.16	0.19	0.15	0.15	0.14	0.2	0.18	0.11	0.07	0.137
14) Deprem ve Zemin Özellikleri	0.26	0.26	0.25	0.13	0.29	0.24	0.28	0.23	0.18	0.27	0.25	0.24	0.43	0.27	0.257

İLK MATRİS

	1) Tasarım	2) İnşaat	3) Bakım ve Onarım	4) Yıkım	5) Maliyet	6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	7) Kalite Yönetimi	8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	9) Stok Yönetimi	10) BIM Uygulaması	11) LCA Uygulaması	12) Yalıtım	13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	14) Deprem ve Zemin Özellikleri	Lokal Ağırlık	sıra
1) Tasarım	1	0.5	1	3	1	1	1	1	2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.17	0.046	1
2) İnşaat	2	1	3	5	1	2	1	1	1	1	1	1	0.5	0.25	0.071	2
3) Bakım ve Onarım	1	0.33	1	4	1	1	1	1	2	1	1	1	0.5	0.2	0.054	3
4) Yıkım	0.33	0.20	0.25	1	0.5	0.5	0.5	1	1	0.33	0.5	0.5	0.2	0.2	0.026	4
5) Maliyet	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	0.5	0.2	0.056	5
6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	1	0.5	1	2	0.5	1	1	1	1	0.5	1	1	0.25	0.17	0.042	6
7) Kalite Yönetimi	1	1	1	2	1	1	1	2	3	1	1	0.5	0.25	0.17	0.053	7
8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5	0.25	0.17	0.038	8
9) Stok Yönetimi	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.33	1	1	0.33	0.33	0.33	0.2	0.17	0.03	9
10) BIM Uygulaması	2	1	1	3	1	2	1	2	3	1	2	1	0.5	0.25	0.07	10
11) LCA Uygulaması	2	1	1	2	1	1	1	2	3	0.5	1	1	0.25	0.2	0.057	11
12) Yalıtım	2	1	1	2	1	1	2	2	3	1	1	1	0.33	0.25	0.064	12
13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	2	2	2	5	2	4	4	4	5	2	4	3	1	0.25	0.137	13
14) Deprem ve Zemin Özellikleri	6	4	5	5	5	6	6	6	6	4	5	4	4	1	0.257	14

	1) Tasarım	2) İnşaat	3) Bakım ve Onarım	4) Yıkım	5) Maliyet	6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	7) Kalite Yönetimi	8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	9) Stok Yönetimi	10) BIM Uygulaması	11) LCA Uygulaması	12) Yalıtım	13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	14) Deprem ve Zemin Özellikleri	TOPLAM	
1) Tasarım	0.05	0.04	0.05	0.08	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.04	0.03	0.03	0.07	0.04	0.668	14.67
2) İnşaat	0.09	0.07	0.16	0.13	0.06	0.08	0.05	0.04	0.03	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	1.037	14.63
3) Bakım ve Onarım	0.05	0.02	0.05	0.1	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.05	0.786	14.63
4) Yıkım	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.374	14.50
5) Maliyet	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	0.08	0.05	0.04	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.05	0.823	14.71
6) İşçi ve Ekipman Yönetimi	0.05	0.04	0.05	0.05	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.06	0.06	0.03	0.04	0.611	14.68
7) Kalite Yönetimi	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.08	0.09	0.07	0.06	0.03	0.03	0.04	0.776	14.59
8) Lojistik (Tedarik Zinciri)	0.05	0.07	0.05	0.03	0.06	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.562	14.62
9) Stok Yönetimi	0.02	0.07	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.436	14.59
10) BIM Uygulaması	0.09	0.07	0.05	0.08	0.06	0.08	0.05	0.08	0.09	0.07	0.11	0.06	0.07	0.06	1.032	14.67
11) LCA Uygulaması	0.09	0.07	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.08	0.09	0.04	0.06	0.06	0.03	0.05	0.826	14.58
12) Yalıtım	0.09	0.07	0.05	0.05	0.06	0.04	0.11	0.08	0.09	0.07	0.06	0.06	0.05	0.06	0.938	14.65
13) İşyeri ve İşçi Güvenliği	0.09	0.14	0.11	0.13	0.11	0.17	0.21	0.15	0.15	0.14	0.23	0.19	0.14	0.06	2.024	14.80
14) Deprem ve Zemin Özellikleri	0.27	0.28	0.27	0.13	0.28	0.25	0.32	0.23	0.18	0.28	0.28	0.26	0.55	0.26	3.838	14.92

elde edilen matris öncelikler vektörüne bölünür.

Tutarlılık kontrolü

	ortalama:
λ max için hepsinin toplamının ortalaması alınır.	14.66
Uyum indeksi	
CI:(λ max-n)/(n-1)	0.05
RI değeri 14 için	1.57
UYUM oranı	
CR= CI/RI	0.03

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Nihal BENLİ
Yabancı Dili	:İngilizce (iyi), Almanca (başlangıç)

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Kompozit Malzeme Teknoloji.	Düzce Üniversitesi	2025
Y. Lisans	Geoteknik.	Dokuz Eylül Üniversitesi	2008
Y. Lisans	Üretim Yönetimi.	Dokuz Eylül Üniversitesi	2007
Lisans	İşletme.	Anadolu Üniversitesi	2006
Lisans	İnşaat Müh.	Dokuz Eylül Üniversitesi	2004
Lise		60.yıl Anadolu Lisesi	2000

TEZTEN ÇIKAN YAYINLAR

L. O. Uğur, N. Benli, "A Time and Cost Based Literature Research In The Field Of Building Information Modeling (BIM)", *3rd International 5 Ocak Congress On Applied Sciences,* Adana, Türkiye, 2022, ss. 51-82.

N. Benli, L. O. Uğur, "Using Building Information Modeling For Sustainable Construction", *International Aegean Conferences Innovation Technologies & Engineering-XI,* İzmir, Türkiye,4-6 April, 2025, ss. 185-202.