

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ BAĞLAMINDA ENDÜSTRİYEL AHŞAP VE
BETON PANEL YAPIM SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan ŞAHİN

EKİM 2024
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ BAĞLAMINDA ENDÜSTRİYEL AHŞAP VE
BETON PANEL YAPIM SİSTEMLERİNİN ANALİZİ**

Furkan ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK MİMAR (MİMARLIK)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 / 08 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 24 / 09 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nilhan VURAL

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Bağlamında Endüstriyel Ahşap ve Beton Panel Yapım Sistemlerinin Analizi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen ve bilim insanı olma yolundaki ilk adımlarımı atarken kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nilhan VURAL’a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması sürecinde bana desteklerini esirgemeyen Mimarlık Bölümü’ndeki tüm değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, doğduğum günden beri elimi hiç bırakmayan, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her kararında arkamda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan babam Hanifi ŞAHİN ve annem Aslıhan ŞAHİN’e kardeşlerim Burak ŞAHİN ve Berke ŞAHİN’e teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Furkan ŞAHİN

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ BAĞLAMINDA ENDÜSTRİYEL AHŞAP VE BETON PANEL YAPIM SİSTEMLERİNİN ANALİZİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Nilhan VURAL’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili yazılımda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24.09.2024

Furkan ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Amaç ve Kapsam	3
1.2. Yöntem.....	3
1.3. Çalışmanın Önemi	4
1.4. Literatür Özeti.....	11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	16
2.1. Literatür Taraması.....	17
2.1.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) Kavramı ve Önemi.....	18
2.1.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Aşamaları	20
2.1.3. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Bina Tasarım Uygulamasında Kullanımı	25
2.1.4. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Dayalı Ürün Seçimi	30
2.1.5. Endüstriyel Panel Yapım Sistemleri.....	41
2.2. Örnek Yapı Analizleri.....	45
2.2.1. Yapı Seçimi ve Seçilen Yapı'nın Yeniden Kurgulanması.....	45
2.2.2. Arazi Seçimi	51
2.2.3. Yapı Malzemelerinin Temini ve Lojistik Bilgiler	52
2.2.4. Program Seçimi ve Modelleme Süreci	56
2.2.5. Sabit Tutulacak YDD türleri ve Verileri	57
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	61
3.1. Küresel Isınma Potansiyeline (GWP) İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	62
3.2. Asitleşme Potansiyeline (AP) İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	65
3.3.Ötrofikasyon Potansiyeline (EP) İlişkin Bulgular ve Tartışma	69

3.4. Ozon Delme Potansiyeline (ODP) İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	73
3.5. Alt Atmosferde Ozon Oluşumuna (POCP) İlişkin Bulgular ve Tartışma	76
3.6. Net Tatlı Su Kullanımı'na İlişkin Bulgular ve Tartışma	80
4. SONUÇLAR.....	87
5. ÖNERİLER	94
6. KAYNAKLAR.....	96
7. EKLER	104
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ BAĞLAMINDA ENDÜSTRİYEL AHŞAP VE BETON PANEL YAPIM SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

Furkan ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Nilhan VURAL
2024, 103 Sayfa, 13 Sayfa Ek

Tarih öncesi dönemlerden itibaren barınma ihtiyacını sağlamak için kullanılan ahşap, sektörde önemli yapı malzemelerinden biridir. Çeşitli çevresel etmenler karşısında yeterli dayanımı gösteremeyen doğal ahşap, 21. yy. teknolojisi ile endüstriyel ahşap yapı malzemeleri ve sistemleri olarak geliştirilmiştir. Endüstriyel ahşap yapı malzemeleri hafif, hızlı yapım olanaklarına sahip, yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Bu durum sürdürülebilir ve yenilikçi ahşap yapılar tasarlanabilmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca inşaat sektörünün birincil enerji kullanımının ve CO₂ emisyonlarının çoğunluğunu oluşturduğu günümüzde bünyesinde karbon depolayabilen endüstriyel ahşap yapı malzemelerinin yapı sektöründe kullanımı önemlidir. Bu bağlamda çalışmada yeniden kurgulanmış olan bir konut modeli Revit yazılımına aktarılmış; ardından üretim, kullanım ve yaşam sonu süreçlerine dair çevresel etki analizi için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) araçlarından ‘One Click LCA’ eklentisi yardımı ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmada; Vural (2005)’ın doktora tezinden örnek bir konut modeli alınarak CLT panel, SIP ve beton panel sistemleriyle yeniden kurgulanan konut modelinin, çevreye olan etkilerinin YDD aracılığı ile irdelenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Sürdürülebilirlik, Endüstriyel Ahşap Malzemeler, Çevresel Etki Analizi.

Master Thesis
SUMMARY

COMPARATIVE ANALYSIS OF INDUSTRIAL WOOD MATERIAL WITHIN THE
SCOPE OF LIFE CYCLE ASSESSMENT

Furkan ŞAHİN

Karadeniz Technical University
Institute of Science and Technology
Department of Architecture
Supervisor: Prof. Dr. Nilhan VURAL
2024, 103 Pages, 13 Pages Appendix

Wood, which has been used to provide shelter since prehistoric times, is one of the important building materials in the sector. Traditional wood, which could not show sufficient resistance against various environmental factors, has been developed as industrial wood building materials and systems with 21st century technology. Industrial wood building materials are lightweight, have fast construction possibilities, are reusable and recyclable materials. This situation allows sustainable and innovative wood structures to be designed. In addition, the use of industrial wood building materials that can store carbon in the construction sector is important in today's world, where the construction sector accounts for the majority of primary energy use and CO₂ emissions. In this context, a reconstructed housing model in the study will be transferred to Revit software and then evaluated with the help of the 'One Click LCA' plugin from the Life Cycle Assessment (LCA) tools for environmental impact analysis regarding production, use and end-of-life processes. In this study; It is aimed to examine and compare the environmental impacts of the housing model reconstructed with CLT panel, SIP and concrete panel systems by taking a sample housing model from Vural (2005)'s doctoral thesis and the housing model reconstructed with CLT panel, SIP and concrete panel systems through LCA.

Key words: Life Cycle Assessment, Sustainability, Industrial Wood Materials, Environmental Impact Analysis.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. İklim değişikliği ve çevreye verilen zararları (URL-1)	5
Şekil 2. Küresel ısınma ve çevreye etkileri	5
Şekil 3. Gezegen sistemi	6
Şekil 4. Negatif karbon salınım grafiği	7
Şekil 5. Karbon salınımı kaynakları	7
Şekil 6. Karbon yönetimi (URL-4)	8
Şekil 7. Adelaide karbon salınım hedefi	9
Şekil 8. Kopenhag karbon salınım hedefi	9
Şekil 9. Hamburg karbon salınım hedefi.....	10
Şekil 10. Yöntem şeması.....	17
Şekil 11. Yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları ve ilişkileri	20
Şekil 12. Ana işlem için girdiler ve çıktılar (Önal,2022).	22
Şekil 13. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesini oluşturan basamaklar (TS EN ISO14040,2007, Gültekin,2006) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir.	23
Şekil 14. Yaşam döngüsü yorum aşamasının YDD'nin diğer aşamaları arasındaki ilişkileri (ISO14040,2006).....	24
Şekil 15. Binalar için yaşam döngüsü aşamaları ve modüller.....	26
Şekil 16. Yaşam döngüsü değerlendirmesi'ne dayalı ürün seçimi (Köşürgeli, 2022) kaynağından yararlanılarak yeniden çizilmiştir.....	30
Şekil 17. EcoCalculator aracının excel görünümü (Köşürgeli 2022).....	35
Şekil 18. Genel YDD araçları ile ürün seçim süreci (Köşürgeli, 2022).	36
Şekil 19. SimaPro veritabanından seçilebilecek örnek cam tipleri (Köşürgeli, 2022).	37
Şekil 20. GaBi demo yazılımı arayüzü (Köşürgeli, 2022)	39
Şekil 21. Panel sistem ile yapı üretimi (URL-5, 2024).	42
Şekil 22. Çapraz lamine ahşap (Green ve Taggart,2020).....	43
Şekil 23. Strüktürel nitelikli kompozit panel (SIP's) (URL-7, 2024)	44
Şekil 24. Büyük boy beton paneller ve örnek bir uygulama (Baş,Vural, 2019)	44
Şekil 25. Doktora tezinden ele alınan üç yapı (Vural,2005)	46
Şekil 26. Doktora tezinden ele alınan üç model(Vural,2005)	46
Şekil 27. 1 numaralı model konutun 3 boyutlu görselleri (Vural,2005)	47

Şekil 28. Zemin kat mimari plan (Vural,2005)	48
Şekil 29. I. kat mimari planı (Vural, 2005)	48
Şekil 30. Ahşap SIP panel yapı sistemi modeli.....	49
Şekil 31. Ahşap CLT panel yapı sistemi modeli.....	50
Şekil 32. Beton panel yapı sistemi modeli	51
Şekil 33. Proje alanı ve komşu parseller.	52
Şekil 34. Beton panellerin güzergahı ve katedeceği mesafe (7.5km).	53
Şekil 35. CLT panellerin güzergahı ve katedeceği mesafe (1077km).	53
Şekil 36. SIP panellerin güzergahı ve katedeceği mesafe (1077km).	54
Şekil 37. Isı yalıtım malzemelerinin güzergahı ve katedeceği mesafe (27km).....	54
Şekil 38. Kapı ve pencerelerin güzergahı ve katedeceği mesafe (10.4km).....	55
Şekil 39. OSB levhaların güzergahı ve katedeceği mesafe (25.3km).	55
Şekil 40. Çatı kaplama malzemelerinin güzergahı ve katedeceği mesafe (30.4km).....	56
Şekil 41. 2021 yılı illere göre kişi başı elektrik tüketimi (kWhkişi) (Tedaş,2021).....	58
Şekil 42. TÜİK su tüketimleri verisi (TÜİK, 2020).....	59
Şekil 43. 2022 yılı illere göre yıllık hane başı doğal gaz tüketimi (m3) (GAZBİR, 2022)	60
Şekil 44. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin küresel ısınma potansiyeli kapsamında karşılaştırmalı grafiği.....	63
Şekil 45. Ahşap SIP yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre küresel ısınma etkileri	64
Şekil 46. Ahşap CLT yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre küresel ısınma etkileri	64
Şekil 47. Beton yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre küresel ısınma etkileri	65
Şekil 48. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin asidifikasyon potansiyeli kapsamında karşılaştırmalı grafiği.....	67
Şekil 49. Ahşap SIP panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre asitleşme etkileri	68
Şekil 50. Ahşap CLT panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre asitleşme.....	68
Şekil 51. Beton Panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre asitleşme etkileri	69
Şekil 52. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin ötrofikasyon potansiyeli kapsamında karşılaştırmalı grafiği.....	71

Şekil 53. Ahşap SIP yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ötrofikasyon etkileri	72
Şekil 54. Ahşap CLT yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ötrofikasyon etkileri	72
Şekil 55. Beton yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ötrofikasyon etkileri	73
Şekil 56. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin ozon delme potansiyeli kapsamında karşılaştırmalı grafiği	75
Şekil 57. Ahşap SIP panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ozon tüketimi	76
Şekil 58. Ahşap CLT panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ozon tüketimi etkileri	76
Şekil 59. Beton panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ozon tüketimi etkileri	77
Şekil 60. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin ozon delme potansiyeli kapsamında karşılaştırmalı grafiği	79
Şekil 61. Ahşap SIP panel yapı modeli bütün YDD süreçlerine göre alt atmosferde ozon oluşumu	80
Şekil 62. Ahşap CLT panel yapı modeli bütün YDD süreçlerine göre alt atmosferde ozon oluşumu etkileri	80
Şekil 63. Beton Panel yapı modeli bütün YDD süreçlerine göre alt atmosferde ozon oluşumu etkileri	81
Şekil 64. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin net tatlı su kullanımı kapsamında karşılaştırmalı grafiği	83
Şekil 65. Ahşap SIP yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre net tatlı su kullanımı	84
Şekil 66. Ahşap CLT yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre net tatlı su kullanımı	84
Şekil 67. Beton yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre net tatlı su kullanımı	85

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Boya ve renklendiricilerin çevresel etki analizi (Köşürgeli 2022'den faydalınarak yeniden çizilmiştir.)	32
Tablo 2. Yalıtım ürünlerinin çevresel etki analizi (Köşürgeli 2022'den faydalınarak yeniden çizilmiştir. A en düşük, C en yüksek çevresel etkileri ifade etmektedir.)	33
Tablo 3. Çevresel etki kategorileri ve birimleri	61
Tablo 4. GWP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg CO ₂ eq)	62
Tablo 5. GWP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg CO ₂ eq) (devamı).....	62
Tablo 6. AP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg SO ₂ e).....	66
Tablo 7. AP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg SO ₂ e) (devamı)	66
Tablo 8. EP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg PO ₄ ⁻³ e)	70
Tablo 9. EP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg PO ₄ ⁻³ e) (devamı).....	70
Tablo 10. ODP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg CFC-11 eq)	74
Tablo 11. ODP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg CFC-11 eq) (devamı)	74
Tablo 12. POCP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg etilen).....	78
Tablo 13. POCP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg Etilen) (devamı).....	78
Tablo 14. FW değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (m ³)	82
Tablo 15. FW değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (m ³) (devamı).....	82
Tablo 16. Ahşap SIP panel yapı modeli YDD etki sonuçları.....	90
Tablo 17. Ahşap SIP panel yapı modeli YDD etki sonuçları (devamı)	90
Tablo 18. Ahşap CLT panel yapı modeli YDD etki sonuçları.....	91
Tablo 19. Ahşap CLT panel yapı modeli YDD etki sonuçları(devamı).....	92
Tablo 20. Beton panel yapı modeli YDD etki sonuçları	93
Tablo 21. Beton panel yapı modeli YDD etki sonuçları (devamı).....	94

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

(PO ₄) ₃	: Fosfat
CO ₂	: Karbondioksit
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kWh	: Kilowatt saat
CFC11	: Kloroflorokarbon11
SO ₂	: Kükürtdioksit
MJ	: Megajul
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetrekare
cm	: Santimetre
Mtoe	: Ton eşdeğer petrol
GWP	:Global Warming Potential (Küresel Isınma Potansiyeli)
AP	:Acidification Potential (Asidifikasyon Potansiyeli)
EP	:Eutrophication Potential (Ötrofikasyon Potansiyeli)
ODP	:Ozone Depletion Potential (Ozon Tabakasının İncelme Potansiyeli)
ADP – E	:Abiotic depletion potential for non fossil resources (Fosil olmayan kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli)
ADP – FF	:Abiotic depletion potential for fossil resources (Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli)

1. GENEL BİLGİLER

Yapı kavramı, insanoğlunun yerleşik hayata geçmesi ile daha da önemli hale gelmiş ve dış etkenlerden korunmanın en önemli ögesi olarak görülmüştür. Toplumun değişmeye başlayan ihtiyaç ve istekleri doğrultusunda yapısal anlamda da yenilikler yaşanmış ve bulunan coğrafyalar esas alınarak bu kavram da gelişim göstermiştir. Sanayi Devrimi ile ortaya çıkan teknolojik ilerlemeler ve endüstrileşme sonucunda özellikle çelik hammadde ön plana çıkmış ve yapı sektöründe kullanılmaya başlamıştır. Özellikle 1900’lü yıllarda yaşanan Dünya savaşlarında çeliğin savaşta hammadde olarak kullanılması bu alanda sıkıntılara yol açmıştır. Bu durum ahşap malzemeyi yeniden gündeme getirmiştir.

Tarihi ve kullanımı eski çağlara dayanan ahşap; ağaçtan elde edilen, içerisinde lif barındıran, homojen ve anizotrop özelliğe sahip organik bir malzeme olarak tanımlanmaktadır (Eriç, 1994). Bu özelliği ahşap malzemeye farklı özellikler de katmaktadır. Nitekim Puettmann vd; (2019), ahşabı negatif karbon emisyonuna sahip olan tek yapı malzemesi olarak ifade ederken Bostancıoğlu ve Düzgün Birer (2004) ise bir yapı malzemesi olarak ahşabın kendini yenileyebildiğini ve havayı temizlediğini belirtmektedir. Bu özellikleri bakımından ele alındığında ahşap malzemenin sürdürülebilir ve çevreci bir yapı malzemesi olduğu ifade edilebilir.

Teknolojide yaşanan yenilikler sanayide de gelişmeleri doğurmuş ve bu durum bütün alanları etkilemiştir. Nitekim Sanayi Devrimi bir sanayi toplumu oluşturmuş ve seri üretimin kaynağı olarak algılanan çevre ve hammadde, bu süreçte yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Bu durum ise başta çevre kirliliği olmak üzere birçok olumsuz duruma yol açmıştır (Görmez, 2003). Uluslararası Bitki Koruma Sözleşmesi (International Plant Protection Convention, IPPC)’nin 2014’te yayımladığı “Uluslararası İklim Değişikliği Paneli” raporunda iklim değişikliklerinde insan faktörünün öneminden bahsedilmiş ve nüfus artışının yapılaşmayla doğru orantılı olarak enerji tüketimini ve çevreyi etkileyeceği belirtilmiştir. İlgili konuda yapılar üzerine de dikkat çekilmiş ve binaların dünya genelinde enerjisinin %40’ını kullanmasının özellikle mimaride önemli bir etken olduğu vurgulanmıştır. Çünkü bir binanın, yapımından (sonraki cümle alt satıra geçmişti) yıkılmasına kadar olan süreçte doğal kaynak tüketimi ve doğaya salınan emisyonlar üzerinde ciddi bir olumsuz etkisi bulunmaktadır.

Çevresel sorunların giderek daha büyük problemlere dönüşmesi sonucunda yapılan çalışmalarla ekolojik yaşam fikri ortaya çıkmıştır. Bu fikir ile insanın doğanın ayrılmaz ve uyumlu bir parçası olduğu bilincine varılmış; çevreyi doğal düzenine döndürmek ve korumak uluslararası bir konu haline gelmiştir (Hollar, 2012).

Ahşap yapı malzemeleri, teknoloji ile gelişme ve ilerleme göstermiş; yangına dayanıklılık ve yapısal bütünlük gösteren ahşap malzemelerin kullanımı, bu malzemenin kullanımını daha geniş bir çerçeveye taşımıştır. Nitekim ahşap malzemenin yenilenebilir ve sürdürülebilir olması, bu malzemenin tercih edilmesinin gelişmiş ülkelerde giderek arttığını göstermektedir (Onat & Özsoylu, 2018). Konuyu destekleyen bir başka istatistik de 21. yy. başlarında Almanya'da yeni inşa edilen konutların %40'ından fazlasının, İskandinavya'da ise yaklaşık %85'inin yapımında ana yapı malzemesi olarak ahşabın kullanılmasıdır. Bu durum ülkelerin çevresel farkındalıklarını ortaya koymuş ve çevresel sürdürülebilirlik açısından iyileştirilmesi gereken en önemli sektörlerden birinin inşaat sektörü olduğu bilincini uyandırmıştır. Bu farkındalık, çevresel konulara yönelik eğilimleri de beraberinde getirmiştir. Nitekim Avrupa Komisyonu, 2050 yılına kadar inşaat sektöründen ortaya çıkan karbondioksit emisyonlarında %90 oranında bir azalma hedeflendiğini belirtmektedir (The European Commission's Joint Research Centre [EC-JRC], 2011; Petrovic, vd., 2019).

İnşaat sektörünün yaymış olduğu olumsuz çevre etkilerine yönelik en önemli çözüm olarak “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi – Life Cycle Assessment” kavramı ortaya çıkmıştır (Curran, 1996). İlk olarak ürün ve süreçlerin değerlendirilmesinden yola çıkılan yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi, malzeme ve yapıların yaşam süreleri boyunca kaynak girdi-çıktılarının mevcut ve potansiyel çevresel etkilerinin tahmin edilmesinde ve bir araya getirilmesinde kullanılan bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (TS EN ISO 14040:2006, 2007). Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi, inşaat sektörüne yönelik birçok yarar sağlamaktadır. İnşaat sektöründe özellikle tasarım aşamasında yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin uygulanması, çevresel etki değerlendirme sonuçlarına göre bu sektörde yer alan aktörlere (mimar, mühendis ve diğer karar vericiler) yardımcı olmaktadır (Abd Rashid ve Yusoff, 2015).

1.1. Amaç ve Kapsam

Yapılan tez çalışmasında; seçilen bir konutun, endüstriyel ahşap ve beton panel yapı sistemleriyle yeniden kurgulanarak bir Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) yazılım aracıyla, YDD kapsamında çevresel etki analizlerinin karşılaştırılmalı olarak irdelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda çalışmanın hedefleri;

- Seçilen yapının ahşap esaslı CLT ve SIP panel yapı sistemleriyle yeniden kurgulanarak YDD kapsamında değerlendirilmesi,
- Seçilen yapının beton esaslı panel yapı sistemiyle yeniden kurgulanarak YDD kapsamında değerlendirilmesi,
- YDD kapsamında değerlendirilen yapıların çevresel etki analizlerinin karşılaştırması

olarak belirlenmiştir.

Seçilen konutun prefabrike panel yapı sistemiyle kurgulandığı için tez çalışmasında da panel yapım sistemleri tercih edilmiş, diğer yapım sistemleri kapsam dışı bırakılmıştır.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi aracı olarak ‘One Click LCA’ aracı seçilmiştir. One Click LCA yazılımı; Avrupa’nın yanı sıra Asya, Kuzey Amerika, Orta Doğu ve Güney Amerika bölgelerine ait veri tabanlarını kapsamaktadır. 100.000’den fazla veri içeren bulut tabanlı bir veri havuzuna erişim sunar. One Click LCA, Student Licence (Öğrenci Lisansı), Starter (Başlangıç), Business (İşletme) ve Expert (Uzman) olmak üzere çeşitli lisans seçenekleri sunmaktadır. Bu çalışmada ücretsiz veri sunan öğrenci sürümü tercih edilmiştir.

Yapılan çalışmada kullanıcı sayısı, yıllık gün sayısı, günlük kullanım saati, yapı ömrü, yıllık elektrik tüketimi, yıllık temiz su tüketimi ve yıllık doğal gaz tüketimi gibi veriler dışında kalan YDD türleri ve veriler çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

1.2. Yöntem

Çalışmanın yönteminde aşağıdaki ana başlıklar ve alt başlıklar yer almıştır.

1. Literatür Taraması

1.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) Kavramı ve Önemi

1.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Aşamaları

1.3. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Bina Tasarım Uygulamasında Kullanımı

1.4. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Dayalı Ürün Seçimi

1.5. Endüstriyel Panel Yapım Sistemleri

2. Örnek Yapı Analizleri

2.1. Yapı Seçimi ve Seçilen Yapının Yeniden Kurgulanması

2.1.1. Yapı Seçimi

2.1.1. Seçilen Yapının Yeniden Kurgulanması

2.2. Arazi Seçimi

2.3. Yapı Malzemelerinin Temini ve Lojistik Bilgiler

2.4. Program Seçimi ve Modelleme Süreci

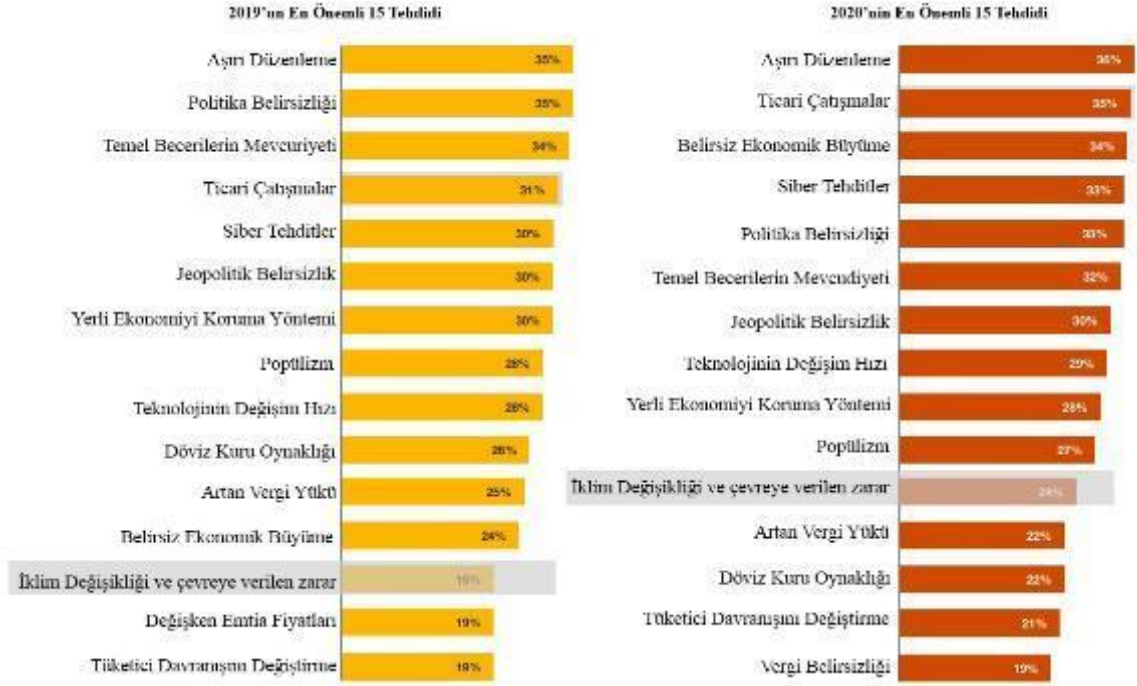
2.5. Sabit Tutulacak YDD türleri ve Verileri

Ayrıntılı yöntem şeması, Şekil 10'da ifade edilmiş, Yapılan Çalışmalar başlığı altında çalışmanın yöntemi detaylı olarak açıklanmıştır.

1.3. Çalışmanın Önemi

Yapılan çalışma; iklim değişikliği ve çevreye verilen zarar, yapılaşmanın küresel karbon emisyonunun ne kadarlık bir bölümünü kapsadığı, şehirleşmenin aynı tekniklerle devam etmesi durumunda karbon emisyonunda ne gibi artışların gözlemleneceği, ülkemizin karbon salınımında dünya genelinde kaçınıcı sırada olduğu, küresel ısınmayı 1,5 dereceye kadar durdurmak için ne kadarlık bir ek planlamanın gerektiği, dekarbonizasyonun yeni adımının ne olduğunu ve Karbon Nötr Şehirler İttifakı konularına dikkat çekmesi bakımından önemlidir. Bu bağlamda ele alınan çalışmanın önemi, 8 maddede özetlenmiştir:

1. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından emisyon üst sınırına bağlı olarak 2019'da Dünya'yı tehdit eden en büyük 15 senaryo listelenmiş, 'İklim değişikliği ve çevreye verilen zararın 13. sıradayken, 2020 yılında 2 sıra yükselerek 11.sıraya yerleştiği görülmüştür (Şekil 1).



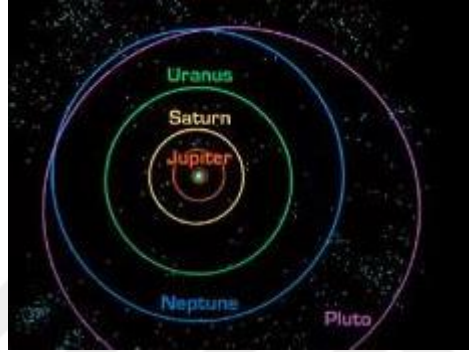
Şekil 1. İklim değişikliği ve çevreye verilen zararları (URL-1,2024)

2. Ulusal Enerji Ajansı'nın (IEA) 2019'da yayınladığı rapordaki verilere göre inşaat sektörü; birincil enerji kullanımının %36'sını, CO₂ emisyonlarının yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır. Böylece kaynakların tükenmesiyle ilgili artan endişelerle birlikte (Şekil 2), çevresel etkilerin değerlendirilmesine ihtiyaç artmıştır. Bu olumsuzluğa karşı en etkin yöntem olarak "Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi" kullanılmaktadır (UNEP Emission Cap Report 2019).



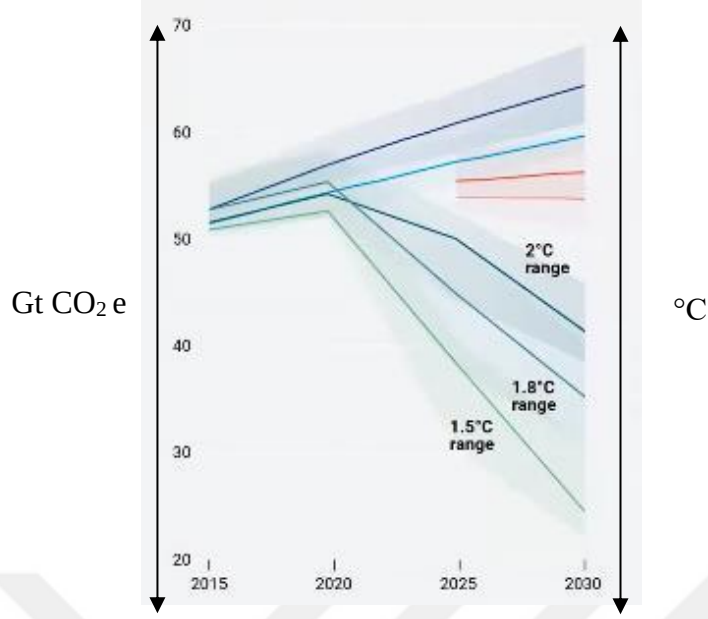
Şekil 2. Küresel ısınma ve çevreye etkileri

3. Yapılaşma, küresel karbon emisyonunun % 39'unu kapsamaktadır. Bu oranın %28'i kullanım aşaması, %11'i malzeme ve inşa aşaması kaynaklıdır (UNEP Emission Cap Report 2019).
4. 2060 yılına kadar şehirleşmenin iki kat artacağı tahmin edilmektedir. Bu durum 2060 yılına kadar her ay bir New York kenti inşa etmek veya Neptün gezegeninin yörüngesinde arabayla 52 tur atmak kadar CO₂ salınımı demektir. (UNEP Emission Cap Report 2019) (Şekil 3).



Şekil 3. Gezegen sistemi

5. Küresel ısınmayı bir buçuk dereceye kadar durdurmak için yaklaşık 35 GtCO₂ (milyar ton karbondioksit) değerinde ek plan gerekmektedir. Fakat Birleşmiş Milletler Çevre Programı Raporu'na göre negatif yönde bir ilerleme mevcuttur (UNEP Emission Cap Report, 2019) (Şekil 4).



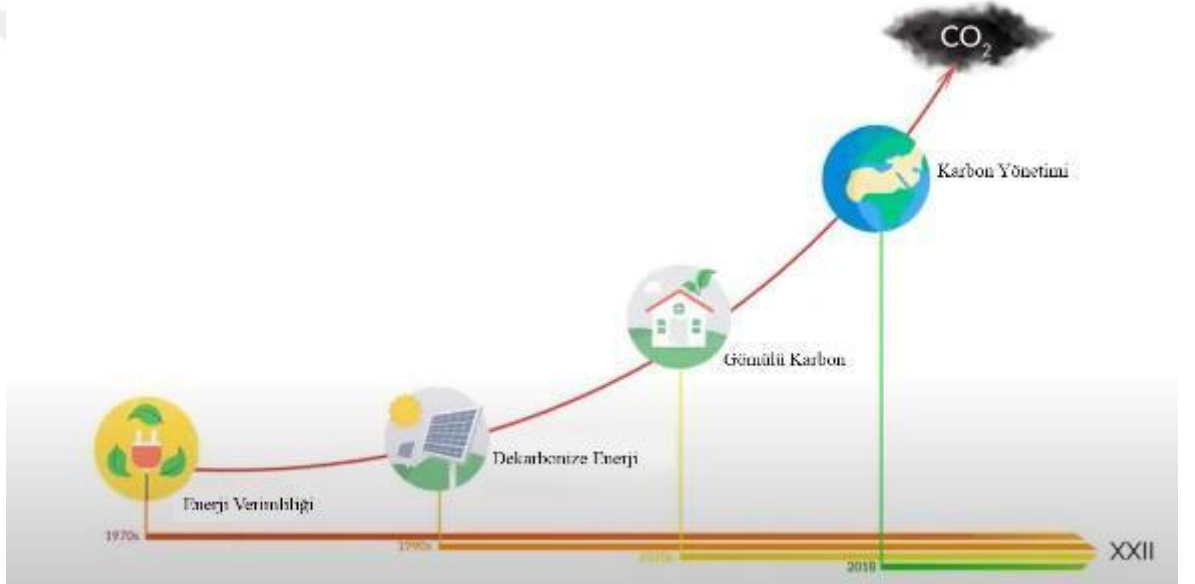
Şekil 4. Negatif karbon salınım grafiği

6. En fazla salınım yapılan 16. ülke: 2020 yılı verilerine göre Türkiye 0.53 GtCO₂ (milyar ton karbondioksit) eşdeğeri salınımla dünyadaki salınımların yüzde birini tek başına gerçekleştirmiştir ve dünyada en fazla salınım yapan 16. ülke olmuştur. Kıyaslama yapılacak olursa Birleşik Krallık'ın toplam salınımları aynı sürede 0.46 milyar ton olarak gerçekleşmiş ve ülke salınım sıralamasında 21. sırada yer almıştır. Kişi başı salınımlarda ise Türkiye'nin salınım miktarı 6.29 metrik ton; Birleşik Krallık'ın ise 6.76 metrik ton olarak gerçekleşmiştir. (UNEP Emission Cap Report 2019) (Şekil 5).



Şekil 5. Karbon salınımı kaynakları

7. Karbon yönetimi, enerji verimliliği ve dekarbonizasyonun bir sonraki adımı olarak görülmektedir. 1970’li yıllarda enerji verimliliği hakkında çalışmalar yapılırken, 1990’lı yıllarda dekarbonize enerji (dekarbonizasyon: kömür, doğal gaz veya petrol gibi fosil yakıtların kullanımından mümkün olan en kısa sürede karbonsuz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş) hakkında çalışmalar yapılmıştır. 2010’lu yıllarda gömülü karbon (gömülü karbon: yapı malzemelerinin imalatı, nakliyesi, montajı, bakımı ve imhasından kaynaklanan sera gazı emisyonları) hakkında yapılan çalışmaları, 2018 yılında karbon yönetimi hakkında çalışmalar takip etmiştir (Şekil 6).

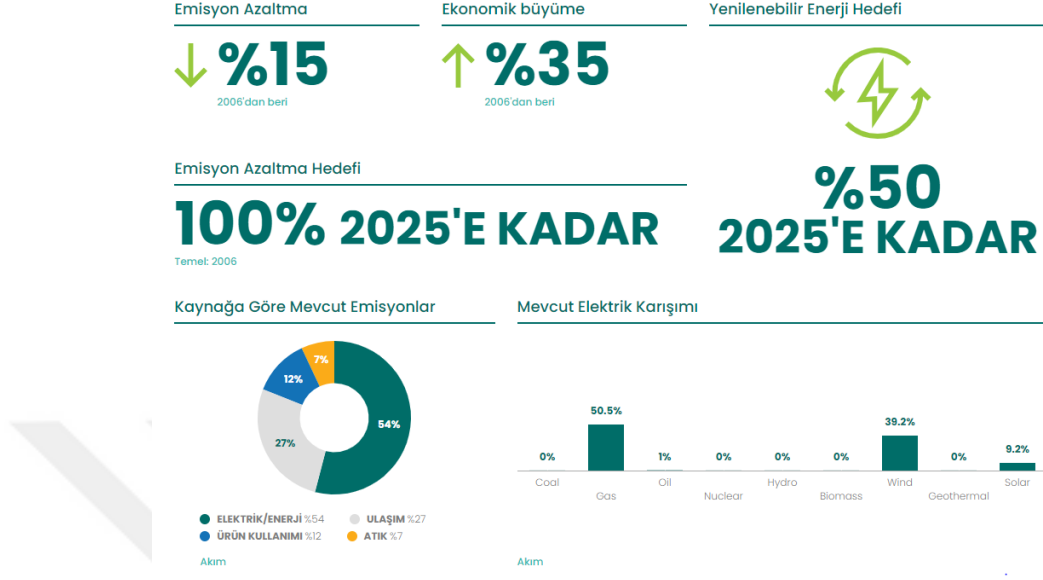


Şekil 6. Karbon yönetimi (URL-6-2024)

8. Karbon Nötr Şehirler İttifakı

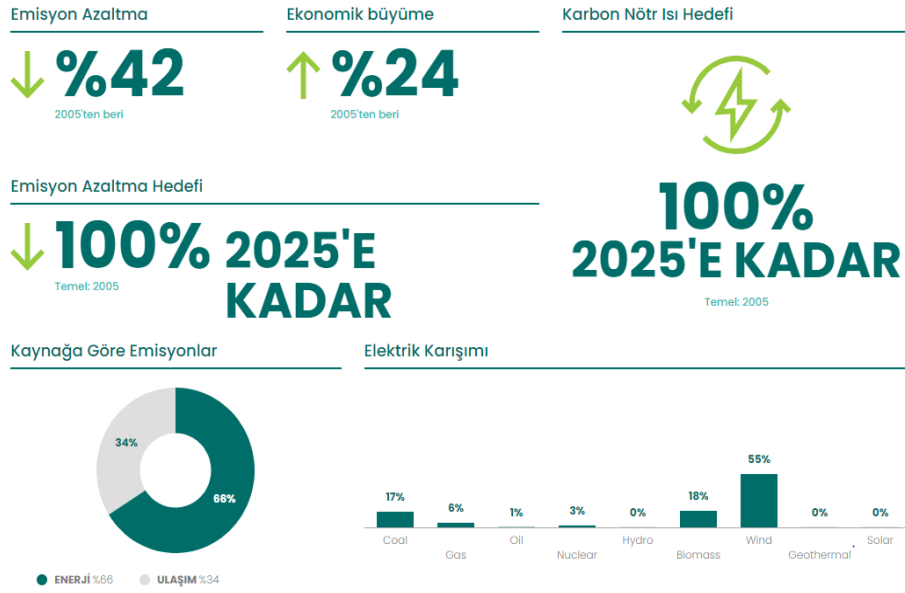
Karbon nötr hedefine ulaşmak için kurulmuş Carbon Neutral Cities Alliance (CNCA), önümüzdeki 10-20 yıl içinde karbon nötrlüğü elde etmek için işbirliği içinde çalışan, diğer şehirlere karbon nötrlüğe mümkün olduğu kadar çabuk ulaşma konusunda ilham vererek yenilikçi çözümler ve politika yaklaşımları sergileyen küresel şehirlerin oluşturduğu bir ittifaktır. Bu ittifakla birlikte çalışan ve nötr karbon hedefine ulaşmayı planlayan Adelaide, Kopenhag ve Hamburg şehirlerinin karbon salınım hedefleri irdelenmiştir:

- Adelaide (Avustralya), 2025 yılında Dünya'nın ilk karbon nötr şehri olmayı planlamaktadır (Şekil 7).



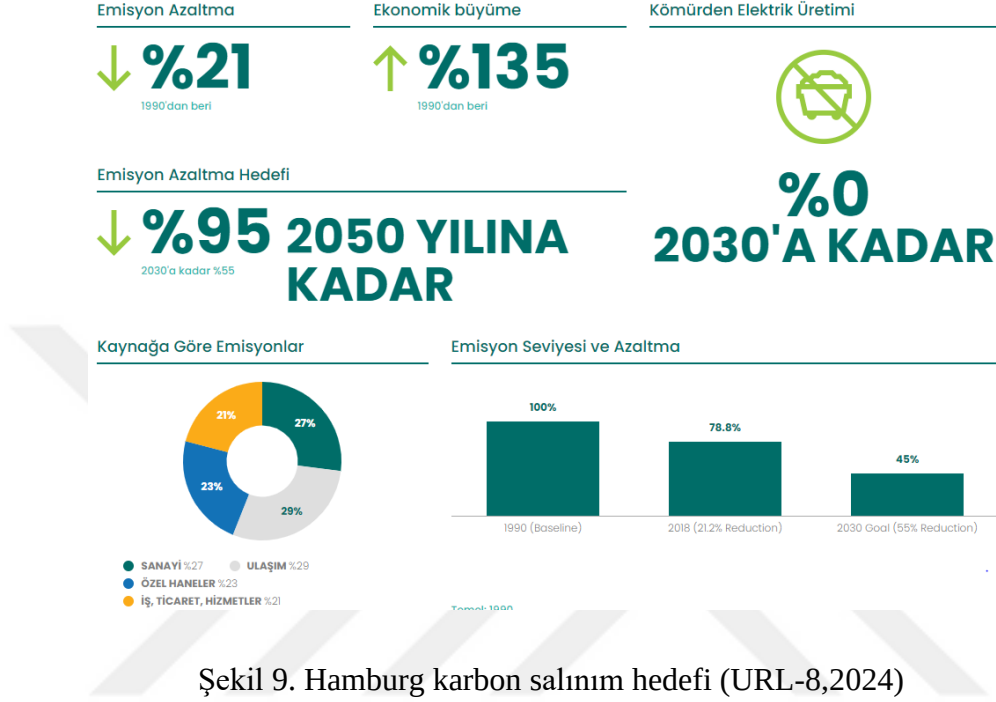
Şekil 7. Adelaide karbon salınım hedefi (URL-8,2024)

- Kopenhag (Danimarka), 2025 yılında Dünya'nın ilk karbon nötr başkenti olmayı planlamaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Kopenhag karbon salınım hedefi (URL-8,2024)

- Hamburg (Almanya), 2030 yılına kadar emisyonlarda %55 azalma ve 2050 yılına kadar minimum %95 azalmayı hedeflemektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Hamburg karbon salınım hedefi (URL-8,2024)

- Bu şehirlerin yanı sıra 2050'den önce '0' karbona ulaşan / ulaşmayı hedefleyen küresel şehirler de şu şekilde sıralanmaktadır: Amsterdam, Boulder, Glasgow, Helsinki, Londra, Melbourne, Minneapolis, New York City, Portland, Rio de Janerio, San Francisco, Seattle, Sidney, Toronto, Vancouver, Washington DC, Yokohama, Stockholm, Oslo.

Sekiz ayrı maddede ele alınan konular, karbon salınımının küresel ve yerel olarak etkilerini; Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) kavramının önemini, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)'nin sürdürülebilir bir gelecek ve sürdürülebilir bir yaşam noktasındaki önemli rolünü göstermektedir.

1.4. Literatür Özeti

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) kavramıyla ilgili ulusal ve uluslararası ölçekte yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu kavramın özellikle son dönemde önemli bir yere sahip olduğu ve küresel ısınma, karbon salınımı gibi iklimsel konulara dikkat çektiği görülmektedir. Bu önem, konunun hem yurt içinde hem de yurt dışında farklı çalışmalara zemin hazırladığını göstermektedir. Bu çalışmalar kronolojik sırada özet şeklinde derlenmiştir:

- Peuportier (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı özellikte ve farklı yapı malzemeleriyle üretilen tek ailenin (2 kişi) yaşadığı üç farklı konutun yaşam döngüsü değerlendirme sonuçları karşılaştırılmış ve ahşap iskelet sistemin çevresel etkilerinin daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca ahşap, beton ve çelik gibi farklı malzemelerden inşa edilen yapıların çevresel etkilerinin karşılaştırılması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, ahşap esaslı malzemelerin diğerlerine kıyasla CO₂ emisyonları karşılaştırmasında büyük ölçüde daha düşük bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur (Guardigli vd., 2011; Monteiro ve Freire, 2012; Peuportier, 2001).
- Sartori ve Hestnes (2007), konut binalarını ve ofis alanlarını ele aldıkları çalışmalar sonucunda kullanım aşamasının, tüm aşamaların %62-98'ini kapsadığını tespit etmişlerdir. Düşük enerji sınıfındaki binaların ise kullanım aşamasının tüm aşamaların %54-91'ini kapsadığını ortaya koymuşlardır.
- Kim (2008) çalışmasında, modüler ve geleneksel yapım sisteminin, birincil enerji tüketimi ile küresel ısınma potansiyeli arasındaki farkları irdelenmiştir. Bakım-onarım aşaması hariç diğer aşamaların hesaba katıldığı çalışmada sahaya malzeme ulaşımı ve işçi lojistiği açısından önemli farklar ortaya çıkardığı görülmüştür. Çalışmada diğer etki kategorilerine yer verilmemiştir.
- Wegener vd. (2010) çalışmalarında ahşap esaslı malzemelerden yapılmış ürün ve binaların enerji kullanımının, tüm yaşam döngüleri boyunca atık ürünlerinden ve sonunda geri dönüşüm potansiyellerinden geri kazanabileceklerinden daha az enerji kullanabileceklerini göstermektedir.
- Gustavsson vd. (2010) çalışmalarında, yaşam ömrünü 50 ve 100 yıl seçerek iki farklı hesaplama ile sekiz katlı ahşap bir yapının yaşam döngüsü boyunca enerji kullanımını ve CO₂ salınımını karşılaştırmıştır. Binanın kullanım aşamasındaki

enerji tüketiminin en fazla paya sahip olduğunu ve ahşap malzeme kullanımının negatif CO₂ salınımı gerçekleştirilmesine katkıda bulunacağını belirtmişlerdir.

- Monahan ve Powel (2011), sürdürülebilir yapı malzemelerinin inşaat aşamasında kullanılmasının karbon ayak izini azalttığını tespit etmiştir.
- Sharma vd. (2011), incelemelerinde binaların tüm yaşam döngüsü aşamalarının, özellikle operasyonel enerji kullanımına (%80-85) odaklanarak büyük çevresel etkilere sahip olduğuna ulaşmıştır. Ayrıca kullanım aşamasının CO₂ 'nin %50'sine katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır.
- König ve Cristofaro (2012), TS EN 15978 (2012) standardını takiben konut yapıları için yaptıkları yaşam döngüsü değerlendirmesinde, A1-A3 (Üretim), B2-B4 ve B6 (Bina Kullanım), C (Kullanım Ömrü Sonu) ve D (Kullanım Ömrü Haricindeki Aşama) modülleri kapsamında her bina türü için farklı inşaat yöntemleri ve malzemelerinden kaynaklanan çevresel etkileri değerlendirmiştir. Örneğin ahşap malzeme için bir ahşap iskelet yapı ve bir masif ahşap yapıyı değerlendirmişlerdir. Ancak bu değerlendirmede ürün aşamasına ait duvar, tavan, çatı elemanlarının prefabrikasyondaki işlemler ve A4-A5 (Şantiyeye Ulaşım-Şantiye/Kurulum) aşamaları dikkate alınmamıştır.
- Zabalza vd. (2013), İspanya'daki düşük enerjili binalar üzerinde çalışmış ve 50 yıllık ömrü olan bir binanın üretim ve inşaat aşamasında %46'lık enerji kullandığını kaydetmiştir.
- Ximenes ve Grant (2013), Avustralya'da yaptıkları çalışmada, ahşap ürünlerin inşaatta kullanılmasının, çelik ve beton gibi diğer alternatif yapı malzemelerine kıyasla, sera gazı emisyonlarını azalttığını tespit etmiştir.
- Penaloza vd. (2013), İsveç'in Växjö kentindeki dört katlı binayı temel alan sekiz tasarım alternatifi için bir YDD çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada, küresel ısınma potansiyeli ve birincil enerji verileri analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapı malzemeleri için gerekli veriler ise Çevresel Ürün Beyanlarından (EPD'ler) sağlanmıştır.
- Takano vd. (2015), ahşap dört katlı bir apartmanın tüm yaşam döngüsü için standartlara göre yaşam döngüsünü değerlendirmiştir.
- Schlanbusch vd. (2016), son yıllarda İskandinav ülkelerinin, inşaat sektöründe çevresel performansın analizi için YDD'nin kullanımının arttığını öne sürmektedir.

- Atmaca (2016), Gaziantep’te bulunan iki binanın yaşam döngüsü enerjisini, yaşam döngüsü CO₂ emisyonlarını ve yaşam döngüsü maliyet analizini yapmıştır. Analizde; inşaat, kullanım ve yıkım aşamalarına odaklanılarak yalıtım malzemesi kalınlığının sonuçlar üzerindeki etkisinde durulmuştur. Literatür araştırması, tez çalışması ile ilgili olarak tek aileli konutlarda yaşam döngüsü değerlendirmeleri üzerine ülke dışında da farklı araştırmalar incelenmiş ve bunların sonucunda alandaki eksikler değerlendirilmiştir.
- Hoxha vd. (2017), Fransa’da 30 ayrı ev için YDD çalışması yapmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda çevreye verilen en büyük etkinin betonarme yapılardan kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.
- Wrålsena vd. (2018), Norveç’in güney kıyısındaki Kristiansand şehrinde bulunan Stjernehus adlı apartmanın iyileştirilmesini incelemişlerdir. Stjernehus, 1960 yılında inşa edilmiş betonarme bir apartman binasıdır. Bina, Beslutt ve Bevisst [31] araştırma projelerinin bir parçası olarak 2013-2015’te iyileştirilmeye tabi tutulmuş ve Geleceğin Binaları [20] kapsamında bir pilot bina olmuştur. Halk arasında Güney Norveç’in en soğuk apartman binası olarak bilinen bina, 2013-2015 yılları arasında bir iyileştirme sürecinden geçmiştir. Bu çalışmada ise seçilen bu binanın YDD kapsamında Stjernehus’un yenilenmesi için yaşam döngüsü envanteri, Stjernehus yenileme ve alan ısıtma senaryoları gibi 4 ayrı senaryo oluşturulmuş ve çeşitli analizler yapılmıştır.
- Petrovic (2019), İsveç’te ahşap tek aileli bir konuta beşikten mezara YDD uygulamıştır. Yalnızca küresel ısınma potansiyeli açısından yapılan değerlendirmede en yüksek etkiyi kullanım aşamasından sonra bakım-onarım ve yapı malzemelerinin üretimi oluşturmuştur. Ayrıca konutun strüktüründe kullanılan ahşap malzeme, yaygın olarak kullanılan beton ve tuğla gibi malzemelerle karşılaştırıldığında “karbon dostu” bir malzeme olarak görülmüştür.
- Kamali vd. (2019) tarafından geleneksel ve iki modüler yapım sistemiyle oluşturulmuş üç adet tek aileli konutun beşikten kapıya (A1-A3) YDD yapılmıştır. Değerlendirmede ulaşım ile ilgili verilerin, sonucu etkilediğine dair veriler bulunmuştur.
- Moschetti vd. (2019), Norveç’te yaptıkları YDD çalışmasında tasarladıkları ofis binası örneğinde, inşaatta büyük miktarda ahşap kullanılmasının küresel ısınma potansiyeli (GWP)’nin azalmasına yol açtığını tespit etmişlerdir.

- Petrovic vd. (2019) çalışmalarında binalardan kaynaklanan büyük çevresel etkileri araştırırken, hesaplamalarda tüm yaşam döngüsü değerlendirmesinin dahil edilmesini savunmaktadır. Bu nedenle İsveç'te tek aileli bir konutun yapı malzemelerinin üretiminden inşaat ve kullanım aşamalarını, ardından kullanım ömrünün sonuna kadarki tüm aşamalarda CO₂ emisyonlarını bir YDD aracı olan One Click LCA aracı ile hesaplamışlardır. Toplam kullanım ömrünü 100 yıl olarak hesaplayan Petrovic vd., küresel ısınma potansiyeli (GWP) ve birincil enerji (PE) verilerinin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Yapı malzemelerine ilişkin detaylı veriler Çevresel Ürün Beyannamesi (EPD) üzerinden sağlanmıştır. Sonuçlar, ahşap esaslı malzeme seçiminin, ahşap esaslı olmayan malzemelerle karşılaştırıldığında karbondioksit emisyonları üzerinde önemli ölçüde daha düşük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. İsveç'te yapılan bu tek aileli evin toplam emisyonu 6 kg CO₂ m²/yıldır. Bina sistemleri ve tesisatları da dahil olmak üzere inşaat malzemelerinin üretim aşaması, toplam karbondioksit eşdeğeri emisyonların %30'unu oluştururken, bakım ve yedek parça ise %37'sini temsil etmektedir.
- Chinyere Daraa vd. (2019) Kanada'da kullanılmış konteynırları tek ailenin yaşadığı bir konuta dönüştürme potansiyelini değerlendirmek için çalışma yapmışlardır. Ayrıca oluşturulan model Kanada'da inşa edilen ve en yaygın yapım tekniği olan geleneksel hafif ahşap evlerle karşılaştırılmış ve analizleri paylaşılmıştır. YDD ve maliyetlendirmesi kapsamında yapılan çalışmada tek aileli geri dönüştürülmüş konteynır modelin geleneksel evlere göre oldukça etkili olduğu ortaya konmuştur.
- Tuna Taygun vd. (2021) Diyarbakır'da bulunan, çevreleriyle ilişkileri ve mimari çözümleri açısından başarılı olduğu belirtilen üç geleneksel evi değerlendirilmiştir. Çevre dostu nitelikleri nedeniyle yüksek puanlar alması beklenen geleneksel evler, değerlendirme de düşük puanlar almıştır. Pek çok neden arasında, mevcut değerlendirme yöntemlerinin, geçmişte inşa edilmiş fakat kullanımı devam eden binaları değerlendirmek için uygun olmaması varsayılmıştır.
- Köşürgeli (2022) Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) bağlamında ürün seçiminde dijital ürünleri inceleyerek, dijital tasarım araçlarının özelliklerini ve etkilerini sorgulamıştır. Bu çalışmada Köşürgeli; Tally, One Click LCA ve Bombyx dijital tasarım araçlarını irdelemiştir.
- Akşar (2022), bir konut modelini, geleneksel ve çağdaş ahşap yapım sistemleri ile yeniden kurgulayarak modelin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)

kapsamında karşılaştırmalı analizini yapmıştır. Yapılan çalışma sonucunda her süreçte çevreye en az etkiyi farklı yapı sisteminin verdiği tespit edilmiştir. Bu sonuç YDD çalışmasında tek bir sürecin değil tüm süreçlerin birlikte ele alınmasının daha doğru bir yaklaşım olacağını göstermektedir.

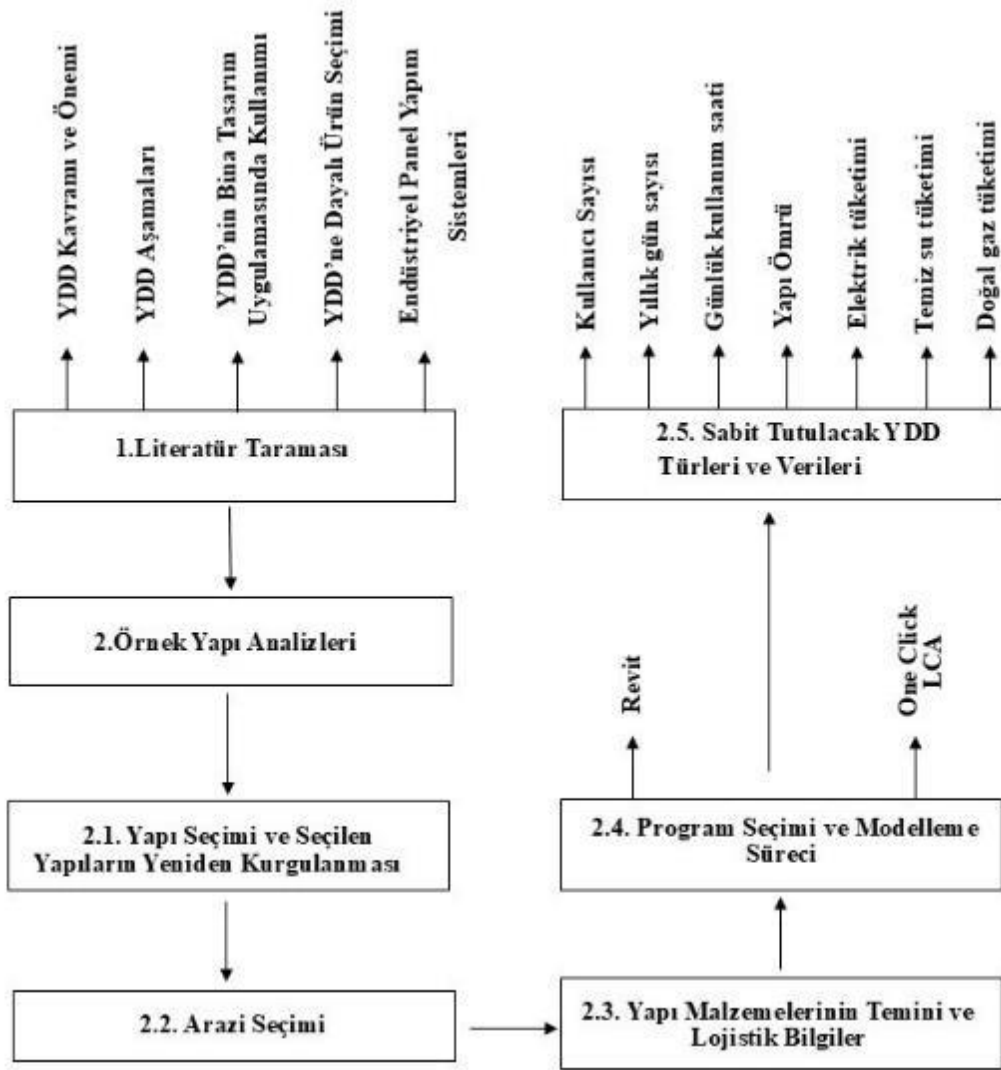
Yapılan literatür araştırmaları sonucunda; yaşam döngüsü değerlendirmesi, yapıda ürün seçimi, yaşam döngüsü değerlendirmesine dayalı ürün seçimi, dijital tasarım araçları, dijital tasarım araçlarına yaşam döngüsü değerlendirmesinin entegrasyonu konularında farklı disiplinler tarafından geliştirilmiş çalışmalar olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu çalışmalar arasında, yöresel evlerin özelliklerini, günün konfor şartına göre yorumlayarak koruyan; bölgenin iklimine, eğimli topoğrafyasına uygun yapıların, farklı türde yapım sistemleriyle YDD bağlamında irdelenmesi konusunda eksiklikler olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle çalışmada bu özelliklere sahip olan bir konut yapısının YDD kapsamında değerlendirilmesi amaçlanmış ve tez çalışmasının başlığı çalışmanın içeriği doğrultusunda “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Bağlamında Endüstriyel Ahşap ve Beton Panel Yapım Sistemlerinin Analizi” olarak seçilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi (YDD), bir üretim sisteminin yaşam süresince tüm girdilerinin, çıktılarının ve potansiyel çevresel etkilerinin toplanıp analiz edilmesi olarak ifade edilmektedir (Hoşkara, 2007). Geri dönüşümlü, yapı tasarımı kaynaklı çevresel sorunları minimum ya da sıfır zararda olması yaşam döngü değerlendirmesinin amacı olmuştur.

Yapılan çalışmalar bölümünde tez kapsamında izlenen yöntem (Şekil 10) ve yönteme bağlı konu başlıkları açıklanmıştır. Yapılan çalışmada bir konut yapısı seçilmiş, endüstriyel ahşap (SIP ve CLT Panel) ve beton panel yapım sistemleri ile yeniden kurgulanmış ve yaşam döngüsü değerlendirmesi bağlamında analiz edilmiştir. Örnek yapı analizlerinde aşağıdaki sıra izlenmiştir:

- Yapı Seçimi ve Seçilen Yapı'nın Yeniden Kurgulanması
- Arazi Seçimi
- Yapı Malzemelerinin Temini ve Lojistik Bilgiler
- Program Seçimi ve Modelleme Süreci
- Sabit Tutulacak YDD Türleri ve Verileri
- Yapı Seçimi ve Seçilen Yapıların Yeniden Kurgulanması



Şekil 10. Yöntem şeması

2.1. Literatür Taraması

Yapılan çalışmada Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) kapsamında endüstriyel ahşap ve beton malzemenin çevresel etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda YDD kavramı ve önemi, YDD aşamaları, YDD'nin bina tasarım uygulamasında kullanımı, YDD'ne dayalı ürün seçimi konuları irdelenmiş ve çalışma kapsamında ele alınan prefabrike panel sistemler (CLT panel, SIP panel, beton panel) kısaca tanıtılmıştır.

2.1.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) Kavramı ve Önemi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), ürünlerin veya süreçlerin beşikten mezara kadar olan tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir (Tuna Taygun,2005). Bir ürünün veya sürecin sürdürülebilirlik açısından ne kadar etkili olduğunun anlaşılmasına yardımcı olur. Bu yöntem, bir ürünün yaşam döngüsünü hammadde temininden üretim ve kullanım aşamalarına, son olarak da atılma veya geri dönüşüm süreçlerine kadar kapsar. Dolayısıyla, sadece üretim aşamasındaki etkileri değil, aynı zamanda ürünün kullanım ömrü boyunca ve sonrasında ortaya çıkan etkileri de göz önünde bulundurulur (Tuna Taygun,2005).

YDD ile ilgili ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda tüketim ürünleri üzerinde yapılmıştır. Bunlardan biri, 1969'da Coca-Cola firması için Midwest Araştırma Enstitüsü (Midwest Research Institute - MRI) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, bir içecek kabının hammaddelerinin elde ediniminden bertaraf edilmesine kadar tüm yaşam döngüsünde enerji, malzeme ve çevresel sonuçları ölçmeye yönelik bir sistem önerilmiştir (Guinée vd., 2011). 1980'li yıllarda yaşam döngüsü düşüncesi inşaat sektöründe de kendini göstermeye başlamıştır. 1990'lı yıllarda düzenlenen çeşitli çalıştaylar ve yayımlanan bilimsel makaleler ile bu konuya yönelik standardizasyon dönemi başlamıştır. Sonraki on yıllık dönemde, Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (Society of Environmental Toxicology and Chemistry-SETAC), YDD uygulayıcılarını bir araya getirerek yöntem ve terminolojiyi uyumlu bir şekle dönüştürmede öncü rol oynamış, SETAC Uygulama Kurallarını (SETAC Code of Practice) yayımlamıştır (SETAC, 1993). 1997'de ise ISO 14040 (Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu-International Organization for Standardization) ile, YDD standartları oluşturulmaya başlanmıştır (Buyle vd., 2013; Tuna Taygun, 2005; Guinée vd., 2011).

YDD'nin ilkesi; "ürünlerin çevreye olan zararlı etkilerini belirleyerek bu etkileri azaltmak, ekolojik çevreye en az düzeyde zarar veren ürünlerin seçilmesini sağlamaktır" (Tuna Taygun, 2005). 21. yüzyılın küresel sorunlarında sınırlı kaynaklar ve çevre kirliliğinin büyük bir yer edinmesi ile çevre dostu ve YDD bağlamında ürün seçimi konusu önem kazanmaktadır. Maleque ve Salit (2013), yapı ürünlerinin üretimi için sayısı her geçen gün artan 60.000'den fazla metalik ve 40.000'e yakın metalik olmayan malzemenin

(plastikler, seramikler, camlar, kompozitler ve yarı iletken malzemeler) olduğunu ifade etmektedir. Bu malzemelerden oluşan sayısız ürün seçenekleri içerisinde çevre dostu ürün seçimi yapmak, karar vericiler için giderek zorlaşmaktadır. Bu doğrultuda tasarımcılara yol gösterecek, sistematik bir ürün seçim yöntemi ortaya konmalıdır (Koyaz, 2016; Maleque ve Salit, 2013).

Binaların kullanım ömrünün uzun olması (genellikle 50 yıldan fazla) YDD araçlarının kullanımının ve çeşitli malzemeler ile binaların enerji performansı arasındaki ilişkisinin tahmin edilmesinin önemini ortaya koymaktadır (Khasreen vd, 2009).

Endüstrileşme sonucunda ortaya çıkan nüfus artışı ve kentleşme, beraberinde yapım teknolojilerini de geliştirmiş ve yapı sektörü; doğal kaynakların kullanımı ve enerji tüketimi ile çevre kirliliğinde önemli bir rol oynamıştır. Yapı sektörü küresel enerjinin ve kaynakların %35'ini tüketirken, dünyadaki sera gazı emisyonlarının %38'inden, katı atıkların ise %50'sinden sorumludur (United Nations Environment Programme, 2020; World Green Building Council, 2020). Ulusal Enerji Ajansının (IEA) 2021'de yayımlanan son raporuna göre, inşaat sektörü nihai enerji kullanımının %40'ını, enerjiyle ilgili karbondioksit emisyonlarının ise %37'sini oluşturmaktadır. Bahsedilen %36'lık nihai enerji kullanımının %22'sini; karbondioksit emisyonlarının %17'sini ise konut yapıları oluşturmaktadır (The United Nations Environment Programme (UNEP, 2021). Binalarda enerji kullanımının yanı sıra bina tasarımında yapı malzemeleri üretimi ve yapım aşaması da çevresel etkilerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalara göre yapılar, toplam hammadde kullanımının %40'ını, atmosfere zararlı salınımların %50'sini oluşturmaktadır. Kaynak tüketimlerinin paralelinde oluşan toplam atıkların ise %35'i inşaat sektöründen kaynaklanmaktadır. Bu nedenlerle çevresel sürdürülebilirlik açısından iyileştirilmesi gereken en önemli sektörlerden biri inşaat sektörü olarak görülmektedir. Günümüzde Türkiye'de inşaat sektörüne odaklanılarak kaynak tüketiminde bina stoğunun çevresel etkilerinin azaltılmasına ve düşük karbon teknolojilerinin kullanılmasına yönelik çalışmalar yürütülmektedir (Çetiner ve Metin, 2011; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2016).

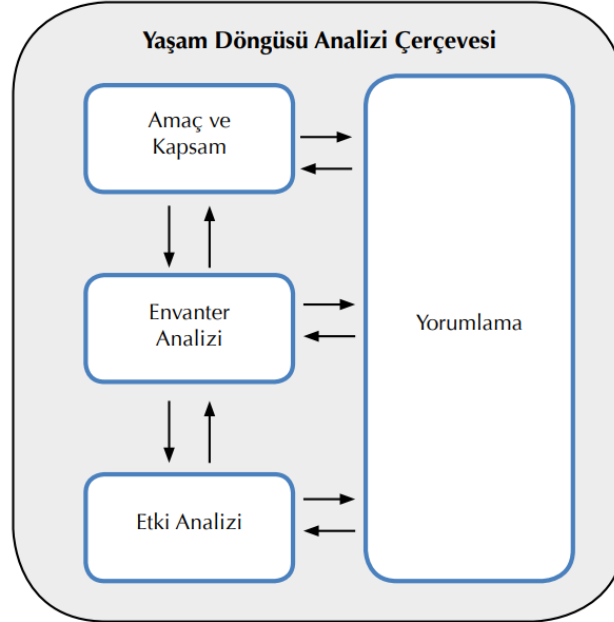
Binalarda yapılan YDD yöntemi, TS EN 15978 (2012)'e göre üretim, inşaat, kullanım ve kullanım ömrünün sonu aşamalarından oluşmaktadır. Birçok çalışmada, binanın

kullanım aşamasının, yaşam döngüsü enerji kullanımının %70'inden fazlasını oluşturduğu sonucuna ulaşılmış ve kullanım aşamasının analizine odaklanılmıştır (Fay vd., 2000; Ortiz vd., 2009; Passer vd., 2012). Bu analizler sonucu kullanım aşamasından kaynaklanan çevresel etkilerin azaltılması çalışmaları yapılarak diğer yaşam döngüsü aşamalarının etkisi üzerinde durulmaya başlanmıştır. Bazı çalışmalarda, üretim ve inşaat aşamasından kaynaklanan çevresel etkilerin, binanın tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkisinin yaklaşık %50'sini oluşturduğu sonuçlarına ulaşılmış ve binaların diğer yaşam döngüsü aşamalarının etkisine olan ilgi önemli ölçüde artmıştır (Dodoo vd., 2009; Hafner vd., 2012; Thormark, 2006).

2.1.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Aşamaları

Kullanım alanları belirtilen yaşam döngüsü değerlendirme 4 aşamadan oluşmaktadır. Şekil 18'de gösterildiği gibi bunlar;

- Amaç ve Kapsamın Tanımlanması (AKT)
- Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (YDE)
- Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)
- Yaşam Döngüsü Yorumlaması (YDY)'dır (TS EN ISO 14040:2006, 2007).



Şekil 11. Yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları ve ilişkileri (Demirer, 2011)

Amaç ve Kapsamın Tanımlanması (AKT)

ISO 14040 (2006)'a göre amaç ve kapsam tanımı, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) sistemini kurmak için tüm genel kararların alındığı adımdır. Amaç ve kapsam aşamasında YDD'si yapılacak olan ürünün tanımlanması yapılırken ürünün sistemi, amaçlanan çalışmanın planlanması, konusu, varsayımları ve sınırları olabildiğince net bir şekilde ifade edilir. YDD çalışmasının kim için ve neden yapılıyor olduğuna dair cevap vermesi amaç ve kapsam tanımının içinde yer alır.

YDD'nin amaçları arasında çalışmanın nedeni, yapılacak çalışma ile hedeflenen uygulama ve sonuçlarının etkilemesi hedeflenen kitle yer alırken bunun yanında stratejik planlama, ürün geliştirme ve pazarlama gibi amaçlar da örnek gösterilebilir. ISO 14040 (2006) standardına göre bir YDD çalışmasının kapsamı tanımlanırken; çalışılacak ürün sistemi, ürün sisteminin işlevleri, fonksiyonel birimler, sistem sınırları, yerleşim prosedürleri, etki kategorileri, etki değerlendirme yöntemi ve devamında yapılacak yorumlar, veri gereksinimleri, varsayımlar, sınırlamalar ve çalışma için gerekli raporun türü belirlenmelidir.

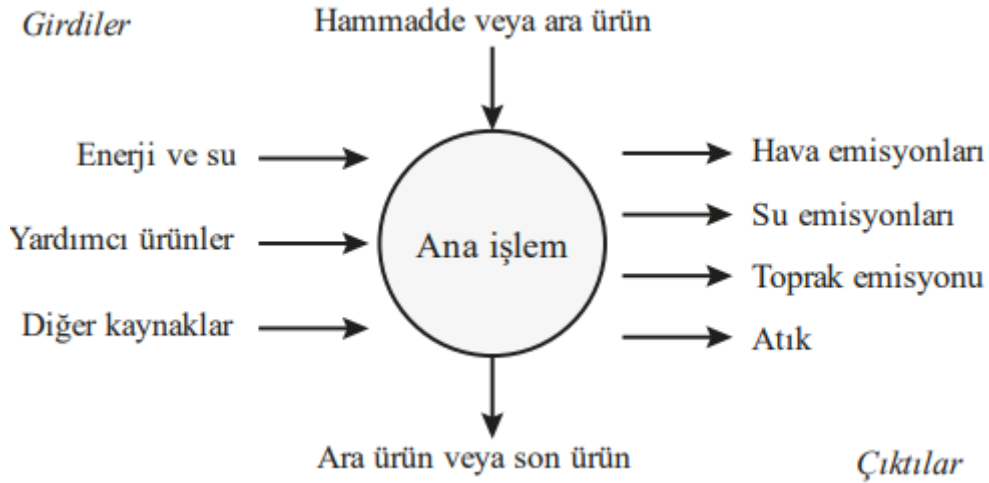
Yaşam döngüsü değerlendirmesinin amaç ve kapsamı, ISO 14040 kapsamında aşağıda belirtilen alt başlıklar doğrultusunda sistemli bir biçimde tanımlanabilir:

- Fonksiyon, fonksiyonel birim ve referans akışları: Bir sistem, içerisinde birçok fonksiyon barındırabilir. Seçilecek fonksiyon YDD'nin amaç ve kapsamına bağlıdır. Ürünün fonksiyonlarının nicel miktarını belirten terime fonksiyonel birim denir. Gerekli ürün miktarları ve ürüne ait referans akışları, hedeflenen fonksiyonun gerçekleştirilmesi için önemlidir.
- Sistem sınırları: YDD çalışması boyunca sisteme dahil edilecek süreçlerin belirlenmesidir. Ürünlerin kullanımı, uygulanması, yok edilmesi, hammadde edinimi gibi süreçler sistem sınırını oluştururken dikkate alınmalıdır.
- Veri kalitesi gerekleri: YDD çalışmasında gerekli olan veri niteliklerinin genel bir ifadesidir. Çalışmanın sonuçlarını yorumlamak için veri kalitesi önemlidir. (Bayraktar, 2010; Crawford, 2011; Heijungs ve Guinée, 2012; TS EN ISO 14040, 2007).

Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (YDE)

Yenilenebilen ve yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılırken ekosisteme verdikleri zararın ölçülmesi, kullanılması gereken kaynaklara karar verilmesi Yaşam Döngüsü Envanter Analizi aşamasıyla sağlanır. Bu sayede çevreyle yapı sistemi arasındaki etkinliğin ölçülmesi, tanımlanan çalışmanın hedeflerini karşılayabilmek için lazım olan veriler toplanmaktadır (O. Joliet, 2016; O. Ortiz, 2009).

Bir ürünün sistemini oluşturan ilgili bütün girdiler ve çıktıların nicel olarak ifade edilmesine olanak sağlayan yaşam döngüsü envanter analizi bir hesaplama yöntemidir. Bir sistemdeki girdileri oluşturan enerji, su ve ham madde gibi veriler ile yaşam döngüsü sonrasında oluşan çıktılar atık, emisyon ve yan ürün olarak sayılabilir. (ISO 14040, 2006). Ana işlem için girdiler ve çıktılar Şekil 12’de gösterilmiştir.



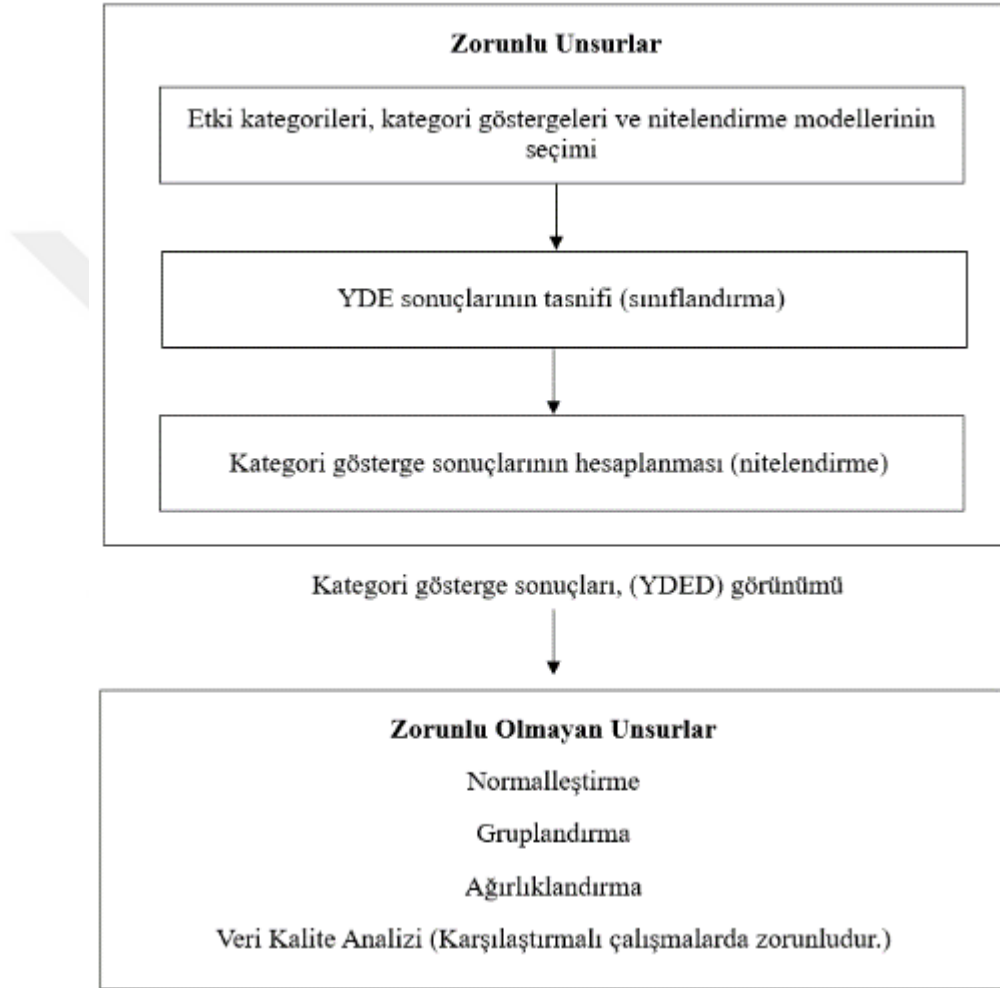
Şekil 12. Ana işlem için girdiler ve çıktılar (Önal,2022).

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED) aşamasının temel amacı, envanter analizinden gelen verilerin ihtimale dayalı ekolojik etkilerini değerlendirmektir. Bu değerlendirme süreci genellikle iklim değişikliği, kaynak tüketimi ve asidifikasyon gibi başlıklara odaklanarak envanter verilerini işler. Bu kategoriler altında değerlendirilen ürüne yaşam döngüsünün hangi aşamalarında hangi etkilerin olduğu belirlenebilir. Değerlendirme süreci, zorunlu ve zorunlu olmayan unsurlardan oluşur. Zorunlu unsurlar,

etki kategorilerinin seçimiyle ilgili sınıflandırma ve nitelendirme modellerini içerirken; zorunlu olmayan unsurlar ise normalleştirme, gruplandırma ve ağırlıklandırmayı içerir (TS EN ISO 14040, 2007).

Yaşam döngüsü etki değerlendirme basamakları Şekil 13 'de gösterilmektedir.



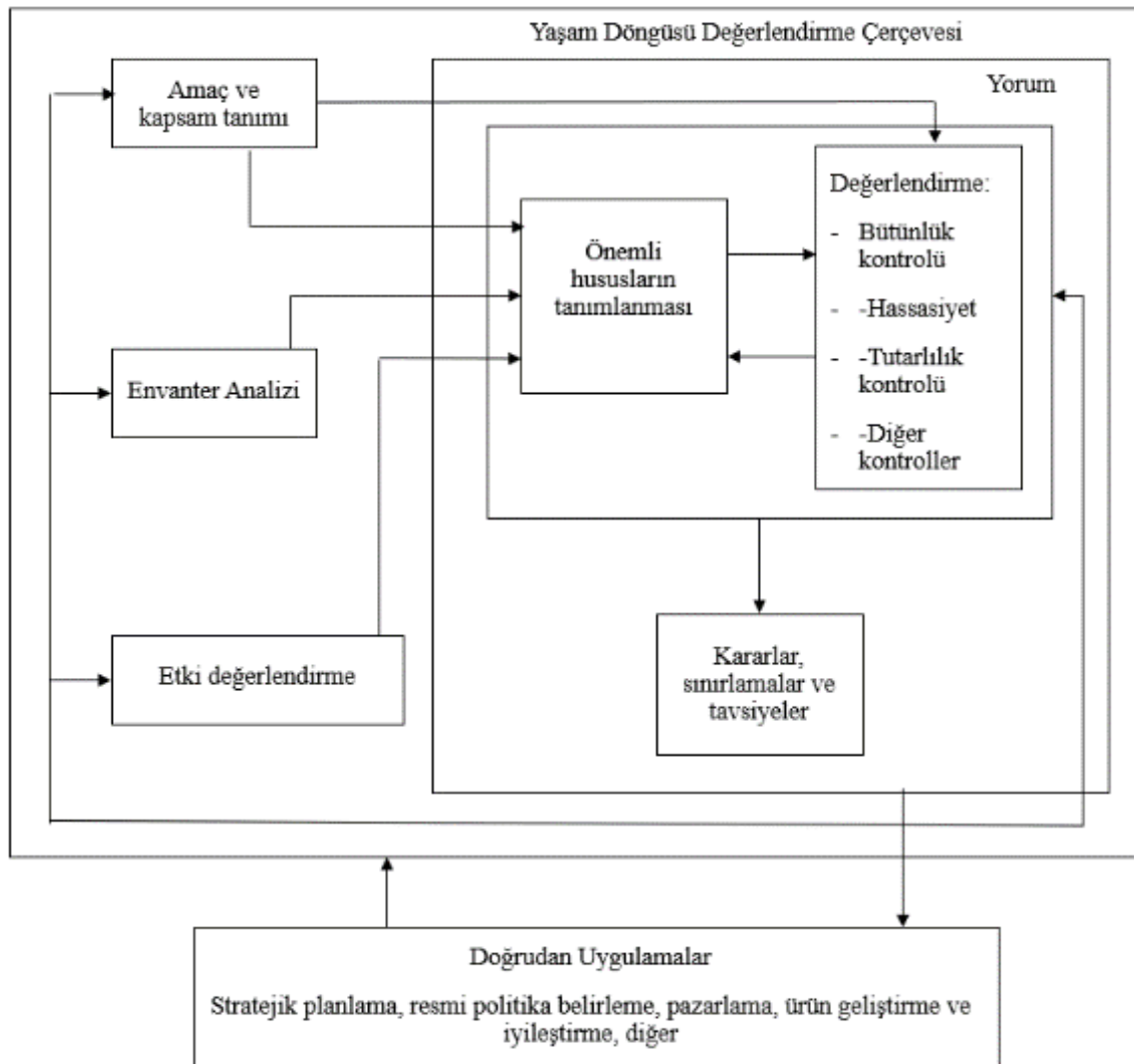
Şekil 13. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesini oluşturan basamaklar (TS EN ISO14040,2007, Gültekin,2006) kaynağından yararlanılarak tekrar çizilmiştir.

Yaşam Döngüsü Yorumlaması (YDY)

Yaşam döngüsü değerlendirme aşamasının sonuncusu olan yorumlama basamağı, envanter analizi ve etki değerlendirme adımlarından elde edilen sonuçların ölçülmesi, kontrol edilmesi, tanımlanması, değerlendirilmesi ve tüm bunların etkin bir biçimde iletilmesi için yapılan bir tekniktir. YDY 3 ana maddeden oluşur:

- YDEA ve YDED adımları doğrultusunda önemli unsurların tanımlanması,
- Bütünlük, hassasiyet ve tutarlılığın dikkate alınarak sonuçların değerlendirilmesi,
- Değerlendirmeye dayalı sonuçlar, sınırlamalar ve öneriler (TS EN ISO 14044, 2007).

Yorumlama basamağıyla edinilen veriler, çalışmanın amaç ve kapsamına uygun olarak karar vericilere öneriler ve kararlar şeklinde sunulmaktadır. Bu aşamada gereken yerde bulguların yapısının ve kalitesinin tekrar gözden geçirilmesi gerekebileceği için tekrarlı bir süreç olabilir. Yorumlama aşamasının verileri değerlendirme öğelerinin sonuçlarını yansıtmalıdır (ISO 14040, 2006).



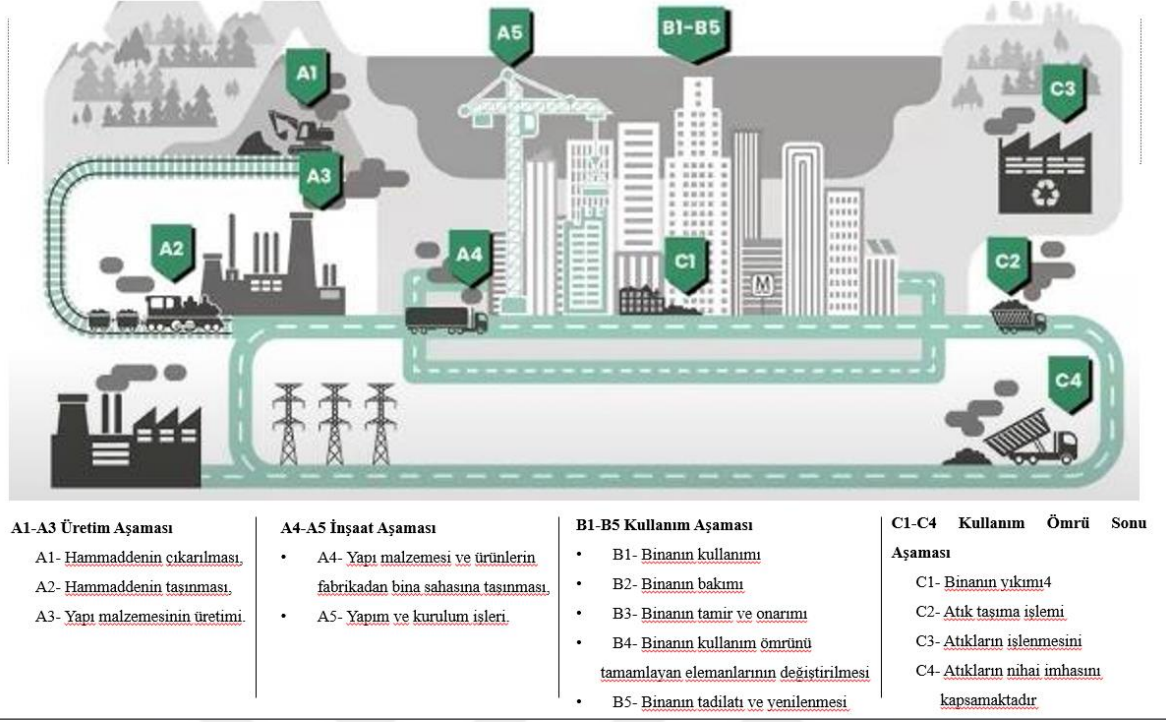
Şekil 14. Yaşam döngüsü yorum aşamasının YDD'nin diğer aşamaları arasındaki ilişkileri (ISO14040,2006)

2.1.3. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Bina Tasarım Uygulamasında Kullanımı

Yaşam döngüsü değerlendirmesi yapı malzemelerine olduğu gibi bina tasarım sürecine de entegre edilerek yapılabilir. Bina yaşam döngüsü ile yapı malzemeleri yaşam döngüsü arasında bazı farklılıklar vardır. Örneğin fonksiyonel birim sonuç yapı malzemesinde bir ürüne dayanırken, tüm bina için fonksiyonel birim metrekare bazında kullanım alanına odaklanır. Ayrıca yapı malzemelerinde yaşam döngüsü değerlendirme bulguları endüstriyel bir sürece dayanırken bina yaşam döngüsündeki veriler, mimari çizim ve tekniğe dayalıdır. Bunun yanı sıra bina ölçeğindeki yaşam döngüsü değerlendirmesi bazı özel durumlara dayanır; çevreden etkilenmesi, çoklu fonksiyon birleşimi olması, binanın uzun ömürlü olması ve binalarda kullanım aşaması örnek gösterilebilir. (Kotaji vd., 2003; Ortiz vd., 2009; Reiter, 2010).

Yapı malzemesi için gerekli hammaddenin toplanması, üretimi, taşınması, kullanımı ve geri dönüşümü yapı malzemeleri ölçeğinde YDD'nin hesaplamalarına dahil olurken bina ölçeğinde hem malzemelerin sürdürülebilirliği hem de inşaat aşamasındaki süreçler bu hesaplamalara dahil olur (ETKB, 2016).

“Yapılarda Sürdürülebilirlik – Binaların Çevresel Performansının Değerlendirilmesi – Hesaplama Yöntemi” başlıklı TS EN 15978 (2012) standardına göre YDD'nin bina tasarım uygulamasında kullanımı aşağıda gösterildiği gibi A, B, C ve D modülleri olmak üzere dört ana aşamada incelenmektedir. Ayrıca TS EN 15978 standardı ile yeşil bina değerlendirme sistemleri kullanılarak nicel olarak hesaplanamayan m² kullanım alanı başına çevresel performans hesabı yapılabilmektedir (ETKB, 2016). Şekil 15’de Yaşam döngüsü değerlendirmesinin bina tasarım uygulamasında kullanımı ve aşamaların isimleri belirtilmiştir.



Şekil 15. Binalar için yaşam döngüsü aşamaları ve modüller (URL – 3,2024)

Üretim ve İnşaat Aşaması (A Modülü)

Üretim (A1-A3) ve inşaat (A4-A5) aşamasının en önemli süreçleri bina tasarımı, yapı malzemesi ve saha seçimidir. Çünkü bir yapının temel birimi olan yapı malzemesi ve yapının tasarımı, ekosisteme zarar verme potansiyelinin en yüksek olduğu ilk aşamasıdır. Çevresel sorunların başlangıcı hammaddenin kaynaktan çıkartılması, üretimi ve inşaat alanına taşınımı olarak görülmektedir (Önal, 2022).

A1-A3 modülleri “beşikten kapıya” kadar olan süreci kapsamaktadır:

- A1- Hammaddenin çıkarılması,
- A2- Hammaddenin taşınması,
- A3- Yapı malzemesinin üretimi.

A4 ve A5 modülleri farklı inşaat yapı ürünlerinin fabrikadan çıkışından inşaat işinin tamamlanmasına kadar olan süreci kapsamaktadır:

- A4 modülü; yapı malzemesi ve ürünlerin fabrikadan bina sahasına taşınmasını, depolanmasını, dağıtımını, imalat ekipmanlarının bina sahasına ve bina sahasında taşınmasını,

- A5 modülü; yapım ve kurulum işlerini (zeminle ilgili işler, malzemelerin depolanması malzeme, atık ve donanımın bina sahasında taşınması, sahada yapılan üretim ve sahadaki üretim sırasında ortaya çıkan atık yönetimi vb. işlemler) içerir (Önal, 2022).

Kullanım Aşaması (B Modülü)

Yapım işlerinin tamamlanmasından binanın yıkılacağı zamana kadar olan bu süreç; ısıtma, soğutma, aydınlatma, su temini, asansör veya hareketli merdivenler tarafından sağlanan dahili taşıma, temizlik, işletme ve makinelerin değiştirilmesi gibi bakım işleri girmektedir (TS EN 15978, 2012).

- B1 modülü; binanın kullanımı ile ilgilidir. Beklenen kullanım şartlarından kaynaklanan etkileri ve nitelikleri kapsar.

- B2 modülü; binanın bakımı kapsamında aşağıdaki işlemleri içermektedir:

- Bakım için kullanılan bileşenlerin ve yardımcı ürünlerin imalatı ve taşınması,
- Binanın dışında ve içinde yapılan temizlik işlemleri,
- Bina ve bina ile ilişkili teknik sistemin işlevsel ve teknik bakımları, binanın dış ve iç bileşenlerinin estetik kaliteleri için yapılacak işlemler.

- B3 modülü; binanın tamir ve onarımı, kullanım aşamasında bina bileşenlerinin tamirleri ile ilgili işlemleri kapsamaktadır. Bu işlemler aşağıdaki gibidir:

- Bina bileşeninin tamir edilecek parçasının üretimi,
- Üretilen parçanın taşınması, imalat etkileri ve taşıma süresinde malzeme kayıplarının nitelikleri,

- Bina bileşeninin tamir edilecek parçasının tamir edilmesi işlemi,
- Bileşenin sökülen parçasının atık yönetimi,
- Bileşenin sökülen parçasının kullanım aşamasının sona ermesi.

- B4 modülü; binanın kullanım ömrünü tamamlayan elemanlarının değiştirilmesi aşamasıdır ve aşağıdaki işlemleri içermektedir:

- Bina bileşeninin değiştirilecek parçasının üretimi,
- Üretilen parçanın taşınması, imalat etkileri ve taşıma süresinde malzeme kayıplarının nitelikleri,

- Bina bileşeninin tamir edilecek parçasının değiştirilmesi işlemi,
- Bileşenin sökülen parçasının atık yönetimi,
- Bileşenin sökülen parçasının kullanım aşamasının sona ermesi.

• B5 modülü; binanın tadilatı ve yenilenmesi ile ilgili aşağıdaki işlemleri içermektedir:

- Yeni bina bileşenin üretimi,
- Üretilen yeni bina bileşenin taşınması,
- Yenileme işleminin bir parçası olarak yapım işlemi,
- Yenileme işlemindeki atıkların yönetimi,
- Yenilenen bina bileşenin kullanım aşamasının sona ermesi.

• B6 modülü; işletmenin enerji kullanımını, bina ile bütünleşik teknik sistemler tarafından binanın kullanılması sırasında tüketilen enerjiyi (operasyonel enerji) kapsamaktadır. Binanın enerji performansı, bina kullanıcılarının farklı ihtiyaçlarını karşılamak üzere kullanılan, hesaplanan veya gerçek enerjiye dayalı olarak aşağıdakilere göre belirlenir:

- Isıtma,
- Sıcak su temini,
- İklimlendirme (soğutma, nemlendirme)
- Havalandırma,
- Aydınlatma,
- Pompalar, kontrol ve otomasyon sistemleri tarafından kullanılan ek enerji.

• B7 modülü; işletme su kullanımı ile ilgilidir, binanın işletimi sırasında kullanılan suyun tamamıyla birlikte inşaat işlerinin bitmesi ile binanın bertarafına kadar olan süreci kapsar:

- İçme suyu,
- Sağlığın korunması için sıcak su,
- Evsel sıcak su,
- İlgili arazilerin, yeşil çatıların sulanması,
- Isıtma, soğutma, havalandırma ve nemlendirme için kullanılan su,
- Binayla bütünleşik sistemler (çeşme, yüzme havuzu vb.) tarafından kullanılan su.

(TS EN 15978, 2012; Önal, 2022).

Kullanım Ömrü Sonu Aşaması (C Modülü)

Yapının hizmet vermesi amaçlanan sürenin bitmesiyle o yapının kullanım ömrü sona erer. Kullanım ömrü sonu aşaması, bina yıkımıyla atık haline gelecek geri dönüştürülüp

yeniden kullanılacak olan malzemenin, yapı elemanları için yeni bir kaynak hâline gelmesi amacıyla yapılan işlemler süreci olarak tanımlanabilir. Bina sahasından temizlenecek tüm bileşenlerin ve malzemelerin kaldırılması ve sahanın sonraki kullanımlar için hazır hale getirilmesiyle bir binanın kullanım ömrünü tamamladığı varsayılmaktadır (TS EN 15978, 2012; Önal, 2022).

- C1 modülü; binanın yıkımı, binanın hizmetine son verilmesinden sonra yapı söküm işlemleri için gerekli olan sahada ve saha dışındaki geçici işlerde gerçekleştirilen işlemler ile sahadaki yıkım ve söküm işlemlerini kapsamaktadır.

- C2 modülü; atık taşıma işlemi, atıkların taşınmasından, yok edilmesi veya atıklar için yapılacak işlemlerin sonuna kadar olan süreci kapsamaktadır. Bu süreç, atıkların olası depolama/işleme yerlerine ve bu yerlerden taşınmasını içine almaktadır.

- C3 modülü; atıkların işlenmesini (yeniden kullanımı ve geri dönüştürülmesini) içeren süreçtir. Yapı yıkımından ortaya çıkan atık parçalarının toplatılması ve yeniden kullanılacak, geri dönüştürülecek veya enerji geri kazanımında kullanılacak malzemelerin akışı içerisinde atıkların işlenmesini ifade etmektedir. Binanın kullanımı sona erdikten sonra malzeme ve ürünler öncelikle atık olarak değerlendirilmekte daha sonra geri kazanım şartlarına uygun bulunduğu anda ise atık işleme aşamasına geçilmektedir.

- C4 modülü; atıkların nihai imhasını kapsamaktadır. Bu modülde, malzemelerin imhasından kaynaklanan; nötralizasyon, enerji kullanılarak veya kullanılmadan gerçekleştirilen yakma işlemleri, çöp gazlarının kullanıldığı veya kullanılmadığı durumda atıkların gömülmesi gibi çevresel yükler hesap edilmektedir (TS EN 15978, 2012; Önal, 2022).

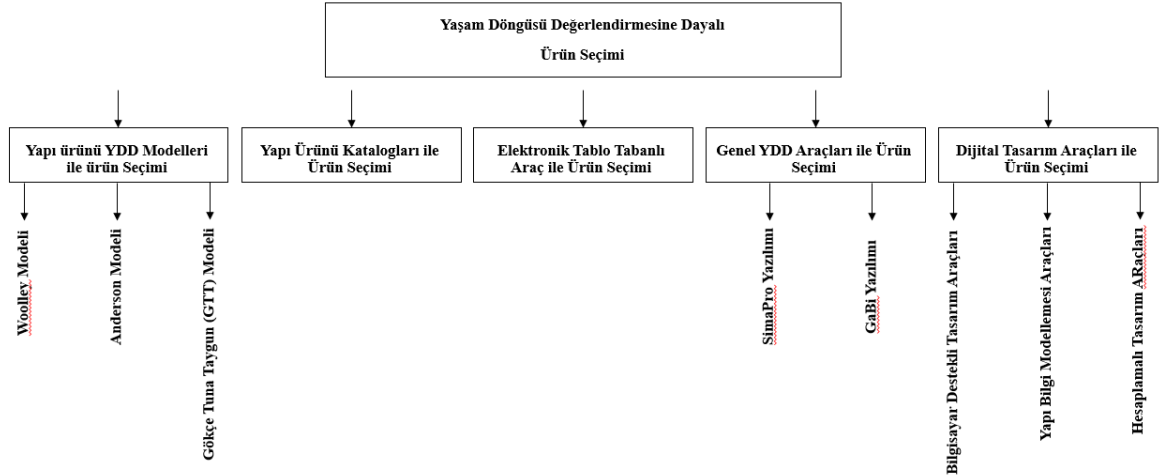
Kullanım Ömrü Haricindeki Aşama (D Modülü)

Kullanım ömrü haricindeki aşama, yeniden kullanılmasına karar verilen ürünler ile geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı için kullanılan ürünlerin, sonrasında potansiyel kaynak olarak kullanılacak ürünlerin belirlendiği aşamadır. Hesaba alınan etmenler, net malzeme akışında meydana çıkan yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri enerji kazanımı ile sağlanan çevresel faydalar ve bu sistemin dışından temin edilen enerji olarak sayılabilir (TS EN 15978, 2012; Önal, 2022).

2.1.4. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Dayalı Ürün Seçimi

Ürün seçimi, yapının işlevine, biçimine ve çevresel performansına etki eder ve ürünlerin yaşam döngüsünde yer alan tasarımcılar, üreticiler ve kullanıcılar gibi karar vericileri bir araya getirir. Bu nedenle, ürün seçimi, YDD kapsamında dikkat edilmesi gereken önemli bir süreçtir (Köşürgeli,2022).

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine dayalı ürün seçiminde kullanılabilecek araçlar şunlardır: Yapı ürünü YDD modelleri, yapı ürünü katalogları, elektronik tablo tabanlı araçlar, genel YDD araçları ve dijital tasarım araçları. Bu araçlar, tasarım sürecine entegre edilebilmeleri açısından en karmaşık olan araçtan en pratik olana doğru sıralanarak incelenmiştir. Bu bağlamda, yapı ürünü YDD modellerinden dijital tasarım araçlarına doğru ürün seçiminde karar vericilerin bireysel çalışmaları uygulama anlamında kolaylaşmaktadır. Böylelikle, ürün seçimine harcanan süre ve iş gücü azalmaktadır. (Köşürgeli,2022)



Şekil 16. Yaşam döngüsü değerlendirilmesi'ne dayalı ürün seçimi köşürgeli, 2022 kaynağından yararlanılarak yeniden çizilmiştir.

Yapı Ürünü Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Modelleri ile Ürün Seçimi

Yaşam döngüsü değerlendirilmesine dayalı ürün seçimi, farklı ürünlerin bilgilerine erişen karar verenlerin edindikleri bu bilgileri model ışığında karşılaştırıp sonra

değerlendirerek seçim yaptıkları sürece verilen isimdir. Bu süreçte kullanılacak olan modeller, her türlü karşılaştırma aracı, yönerge ve standartlar kullanılarak geliştirilebilir (Köşürgeli, 2022).

Denetim listeleriyle belirlenmiş sorular eleştirel bir yaklaşımla ürün seçimi yapılmasına yardımcı olur. Temel çevre göstergeleri ışığında yönerge ve standartlar seçim süreci için araç olabilir (Masoudi vd., 2012). Ürünlerin yaşam döngüsü değerlendirme verilerinin karşılaştırmalarını yapılabilmesi için karşılaştırmalı araçlar, basit bir hesap tablosu yardımı ile bulunur (Pollini ve Rognoli, 2021). Yapılan tez kapsamında yapı ürünü YDD modelleri ile ürün seçiminde 3 model ele alınıp açıklanmıştır.

Bu modeller; Wooley Modeli, Anderson Modeli ve Gökçe Tuna Taygun (GTT) Modelidir.

Woolley Modeli

Yapı ürünlerinin kullanım alanlarına göre üretimde kullanıldığı süre boyunca çevreye verdiği etkilerin değerlendirilmesi 1997'de Woolley vd. tarafından yapılmıştır. Woolley'in geliştirdiği bu modelde; yalıtım ürünleri, ahşap koruyucular, duvar elemanları, tuvaletler, yağmur boruları, çatı ürünleri, döşeme kaplamaları, enerji kaynakları ve ahşap malzeme değerlendirilmektedir. Modelde denetim listesiyle ortaya çıkan değerlendirme sonuçları ifade edilir. Sayısal veriler yerine görsel semboller kullanılmıştır. Değerlendirme sonucunda çıkan olumsuz çevre etkileri, daha büyük noktalarla gösterilmiştir. Ürün seçimleri bu değerlendirme sonuçlarına bakarak gerçekleştirilebilir. Tablo 1'de örnek bir analiz yer almaktadır (Köşürgeli, 2022).

Tablo 1. Boya ve renklendiricilerin çevresel etki analizi (Köşürgeli 2022’den faydalınarak yeniden çizilmiştir.)

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

Anderson Modeli

BREEAM Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemi’nin temel ölçütlerini içeren “The Green Guide to Specification” çalışması, 2002’de Anderson ve Howard tarafından geliştirilmiştir. Bu modele göre ürünler A harfi en düşük, B harfi orta, C harfi en yüksek çevresel etkene sahip olduğunu gösterecek şekilde yaşam döngüsü yaklaşımıyla ifade edilmiştir (Anderson ve Howard, 2002).

Ürün değerlendirmeleri duvarlar, çatılar, pencereler, asma tavan, kapılar, döşemeler, giydirmeler, boyalar ve yalıtım ürünleri kapsamında yapılmıştır (Anderson ve Howard, 2002).

Tablo 2’de Anderson modelinin örnek bir analizi gösterilmiştir.

Tablo 2. Yalıtım ürünlerinin çevresel etki analizi (Köşürgeli 2022’den faydalınarak yeniden çizilmiştir. A en düşük, C en yüksek çevresel etkileri ifade etmektedir.)

YALITIM	Özet Değerlendirme	Küresel Isınma	Fosil Yakıt Tüketimi	Ozon Tabakasının İncelməsi	Atık Yok Edilmesi	Su Çekme	Asit Birikimi	Ekozeirlik	Ötrofikasyon	Fotokimyasal Sis	Maden Çıkarma	Maliyet £/m ²	Tipik Değişim Aralığı	Geri Döñüştürülmüş Girdi	Geri Döñüştürülebilirlik	Şu Anda Geri Döñüştürülmüş	Geri Döñüşümle Tasarruf Edilen Enerji
Taş Yünü Yoğunluk 140 kg/m ³	A	A	A	A	C	A	A	A	B	C	B	6-7	60	B	C	C	C
Taş Yünü Yoğunluk 160 kg/m ³	A	A	A	A	C	A	A	A	B	C	B	6-7	60	B	C	C	C
Taş Yünü Yoğunluk 180 kg/m ³	A	A	A	A	C	A	A	A	B	C	B	7-8	60	B	C	C	C
Taş Yünü Yoğunluk 200 kg/m ³	A	A	A	A	C	A	A	A	B	C	B	7-8	60	B	C	C	C

Gökçe Tuna Taygun (GTT) Modeli

Tasarımcı ya da karar verecek kişinin bireysel çalışmasına bağılı olarak seçilecek ürün hakkında edinilecek tüm bilginin yaşam döngüsü değeriendirilmesi ile ilgili 2005 yılında Gökçe Tuna Taygun tarafından bir model geliştirilmiştir. Bu modele göre edinilen bilgiler doğrultusunda yaşam döngüsü süreçlerinin çevreyi etkileyebilecek tüm çıktıların ve etkilenen çevre gruplarının değeriendirilmesi yapılmaktadır (Köşürgeli, 2022).

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

Yapı ürünü YDD modelleriyle bu bağlamdaki ürün seçimi; çok sayıda yapı ürünü seçeneği ve model tipolojileri, karar vericilerin kullanacağı modeli belirleme konusundaki karmaşıklıklar, ürün ve modellerin karşılaştırılabilirliği, zorlukları, bilgi erişimindeki karmaşıklık gibi nedenlerden dolayı farklı yöntemlere bırakmıştır. (Köşürgeli, 2022).

Yapı Ürünü Katalogları ile Ürün Seçimi

Firma hareketlerinin etkin olması için güncel faaliyetlerin ve ürünlerin tanıtıldığı basımlara ürün kataloğu denir (Özbek ve Engür, 2018). Üretici kurumlardan dijital ya da basılı olarak ürüne ait bilgileri temin eden karar vericiler bir sistem içerisinde kıyaslayarak ürün seçimi yapabilirler. YDD kapsamında karar vericilerin faydalanabileceği kataloglar arasında Çevresel Ürün Beyannamesi (EPD) de vardır.

Elektronik posta ve internet sitelerinden çevrimiçi kataloglara, üretici firmalardan da basılı kataloglara ulaşılabilir. Her firmanın kendi web sitesinden ulaşılabilen dijital kataloglara aynı zamanda Archdaily, Arkitera-RAF gibi web siteleri üzerinden de erişilebilir. Dijital kataloglar kağıt tüketiminin getirdiği çevresel sorunların önüne geçerken, bilgi çokluğu ve kıyaslama güçlüğü nedeniyle karmaşıklığa sebep olmaktadır. Bunun yanında her veri tabanında ilgili ürünün bilgilerinin olmaması bir sınırlılık getirmektedir. YDD'ne dayalı ürün seçimi, çevresel performansı değerlendirmede kıyaslama güçlüğü, iş gücü ve maliyet yüksekliği gibi nedenlerden dolayı kullanıcıları ürün kataloglarının yerine daha kapsamlı seçim araçları kullanmaya sevk etmiştir (Köşürgeli, 2022).

Elektronik Tablo Tabanlı Araçlar ile Ürün Seçimi

Microsoft Excel gibi tablolama programları ürünlerin yaşam döngüsü değerlendirmesini yapabilen ve çıkan sonuçlar sayesinde karar vericilere seçim yapmasına yardımcı olan elektronik tablo tabanlı araçlardır. Çevresel Ürün Beyannamesi yani EPD’lerde bulunan çevresel veriler ya da ürün miktarlarını ürünlerle ilgili veri tabanları sayesinde hesaplama işlemi gerçekleştirilir. Sisteme veri girişleri ve çıkan sonuçların kıyaslanması bireysel olarak karar vericiler tarafından yapılır. Bu da yapı döngüsü değerlendirmesine dayalı ürün seçiminde hata payının yüksek olmasını ve zaman alıcı bir sistemi beraberinde getirir. (Hollberg ve Ruth, 2016)

EPA tarafından geliştirilen TRACI ve Athena Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü (Athena Sustainable Materials Institute-SMI) tarafından geliştirilen EcoCalculator (Şekil 4.1), elektronik tablo tabanlı etki değerlendirme araçlarına örnek olarak verilebilir. Araçlar, kendi veritabanlarındaki çeşitli yapı ürünlerine ait YDD sonuçlarını içerir. Karar vericiler bu bağlamda araçlar yardımıyla, yapı ürünleri seçebilir ve metraj bilgileri üzerinden YDD sonuçlarını elde edebilir (Athena Sustainable Materials Institute, 2012; The U.S. Environmental Protection Agency, 2022).

TOTAL IMPACTS BY BUILDING COMPONENT		Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	GWP (tonnes CO ₂ e) TOTAL	Acidification Potential (moles of H ⁺ eq) TOTAL	HH Criteria (kg PM ₁₀ eq) TOTAL	Eutrophication Potential (kg N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (kg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg O ₃ eq) TOTAL
COLUMNS & BEAMS		0	0	0	0	0	0	0
WHOLE BUILDING TOTAL		0	0	0	0	0	0	0

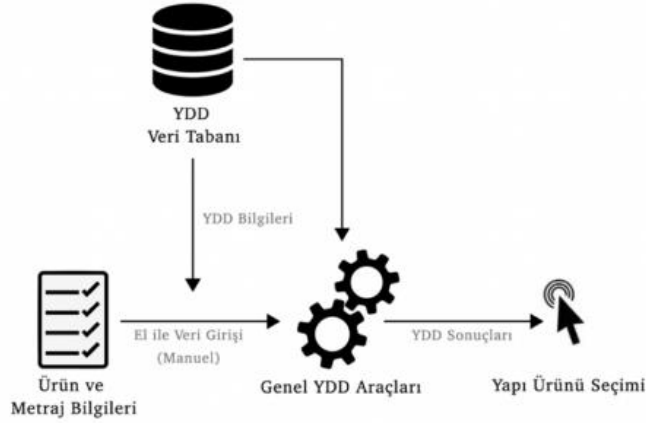
B. COLUMNS AND BEAMS (other assembly tabs at bottom of spreadsheet)									
IN THE YELLOW CELLS BELOW, ENTER THE AMOUNT OF SQUARE FOOTAGE THAT EACH ASSEMBLY USES IN YOUR BUILDING									
ASSEMBLY TYPE Column / Beam	Square Footage	Percentage of total	Fossil Fuel Consumption per ft ² (MJ)	Global Warming Potential per ft ² (kg CO ₂ eq)	Acidification Potential per ft ² (moles of H ⁺ eq)	HH Criteria per ft ² (kg PM ₁₀ eq)	Eutrophication Potential per ft ² (kg N eq)	Ozone Depletion Potential per ft ² (kg CFC-11 eq)	Smog Potential per ft ² (g O ₃ eq)
Average across all column and beam systems:			42.26	2.82	0.06	7.23	2010	0.01	109.12
METHOD 1 (ASSUMES NON-LOAD-BEARING EXTERIOR WALL)									
1 Concrete column / Concrete beam	0.0		115.09	9.02	2.55	24.68	5,255.05	0.05	396.78
2 Concrete column / Glulam beam	0.0		57.28	3.94	1.20	13.81	2,602.44	0.01	155.62
3 Concrete column / LVL beam	0.0		56.16	3.86	1.16	10.18	2,643.09	0.01	150.29
4 Concrete column / WF beam	0.0		96.62	5.81	1.85	11.70	5,425.94	0.01	221.59
5 HSS column / Glulam beam	0.0		17.41	1.09	0.37	6.44	476.12	0.00	35.69
6 HSS column / LVL beam	0.0		16.27	1.01	0.33	2.81	517.49	0.00	30.34
7 HSS column / WF beam	0.0		56.64	2.95	1.02	4.33	3,299.20	0.00	101.62
8 Precast Concrete column / Precast Concrete beam	0.0		38.78	3.68	0.94	6.23	1,114.74	0.01	147.67
9 WF column / Glulam beam	0.0		16.18	1.00	0.34	6.31	524.22	0.00	35.63
10 WF column / LVL beam	0.0		14.96	0.92	0.30	2.68	565.99	0.00	30.29
11 WF column / WF beam	0.0		55.33	2.86	0.99	4.20	3,347.30	0.00	101.56
METHOD 1 TOTAL SQUARE FOOTAGE		0.0							
METHOD 2 (Assumes LOAD-BEARING exterior wall)									
12 Concrete column / Concrete beam	0.0		87.68	6.93	1.95	19.05	3,967.31	0.04	306.08
13 Concrete column / Glulam beam	0.0		40.35	2.77	0.85	10.15	1,796.20	0.01	108.73
14 Concrete column / LVL beam	0.0		39.44	2.70	0.81	7.18	1,830.11	0.01	104.37
15 Concrete column / WF beam	0.0		72.54	4.29	1.38	8.43	4,106.04	0.01	162.72
16 HSS column / Glulam beam	0.0		13.65	0.86	0.29	5.22	372.72	0.00	28.44
17 HSS column / LVL beam	0.0		12.71	0.79	0.26	2.25	406.57	0.00	24.07
18 HSS column / WF beam	0.0		45.74	2.38	0.82	3.49	2,682.22	0.00	82.40
19 Precast Concrete column / Precast Concrete beam	0.0		32.02	3.06	0.78	5.21	901.98	0.01	124.01
20 WF column / Glulam beam	0.0		12.77	0.80	0.27	5.13	404.92	0.00	28.40
21 WF column / LVL beam	0.0		11.83	0.73	0.24	2.16	438.77	0.00	24.03
22 WF column / WF beam	0.0		44.87	2.32	0.80	3.41	2,714.42	0.00	82.36
23 Pre-Engineered Building System	0.0		17.79	1.03	0.27	1.25	831.78	0.00	27.16
METHOD 2 TOTAL SQUARE FOOTAGE		0.0							

Şekil 17. EcoCalculator aracının excel görünümü (Köşürgeli 2022)

Genel YDD Araçları ile Ürün Seçimi

Ürün sınıfı, ürünün adı, ürünün özellikleri, üreticinin adı, yaşam döngüsü değerlendirme sonuçları gibi kategorilerde karar vericilere ürün seçiminde yardımcı olan genel YDD araçları, sürecin ve ürünün yaşam döngüsü değerlendirmesi hesaplamaları için geliştirilmiştir.

Karar vericinin bireysel olarak ürün bilgileri YDD araçlarına işlenir. Çeşitli veri tabanlarından elde edilen bilgiler ise kullanıcı tarafından ya da otomatik olarak ürün yazılımı üzerinden çekilir. Daha sonra değerlendirilen tüm veriler doğrultusunda karar verici tarafından ürün seçimi yapılır (Şekil 18). Ürün seçim sürecinde kullanılabilecek birden fazla yapı ürünü ailesini içeren genel YDD araçlarına SimaPro ve GaBi yazılımları örnek olarak verilebilir (Köşürgeli, 2022).



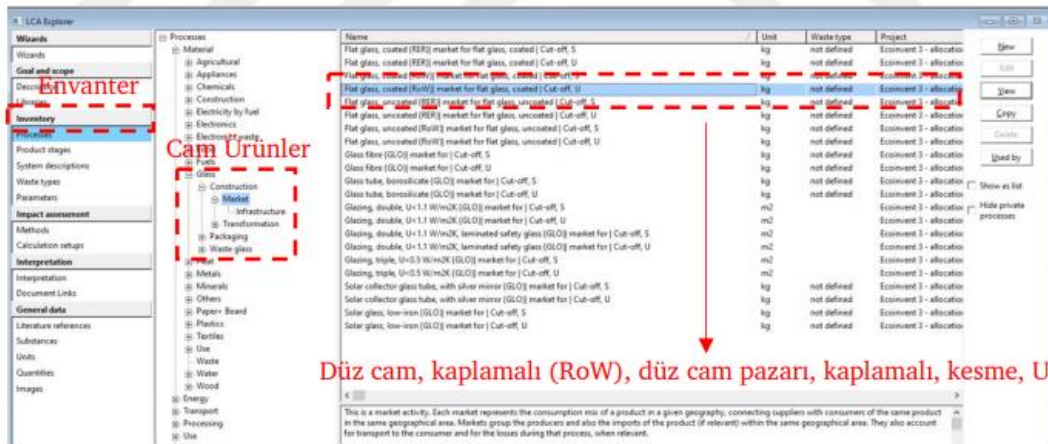
Şekil 18. Genel YDD araçları ile ürün seçim süreci (Köşürgeli, 2022).

Simapro Yazılımı

Pre Consulting firması tarafından 1990 yılında geliştirilen SimaPro (System for Integrated Environmental Assessment of Products – Ürünlerin Bütünleşmiş Çevresel Değerlendirme Sistemi), hem küçük şirketlerde hem de Unilever, Heineken, BASF, DSM gibi uluslararası büyük şirketlerde kullanılmaktadır. Aynı zamanda üniversiteler, araştırma enstitüleri, endüstriler ve bireysel kullanıcılara da bu yazılım eşlik etmektedir. SimaPro Yazılımı, ürün ve servislerin sürdürülebilirlik performansını toplamayı, analiz etmeyi ve takip etmeyi amaçlayarak hazırlanmıştır. Bu yazılım amacı farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalara örnek olarak karbon ve su ayak izi hesaplanması, çevresel ürün beyanı oluşturma, ürün tasarımı ve temel performans göstergelerinin

belirlenmesi örnek gösterilebilir. Karmaşık olan yaşam döngülerinin sistematik bir şekilde modellenmesinin yapılması, analiz edilmesi, tüm yaşam döngüsü aşamalarındaki çevresel etki ihtimallerinin değerlendirilmesi ve ürün tedarikinde sorunlu olduğu kısımların belirlenip işlenmesi bu yazılım ile sağlanmaktadır. Çoklu kullanıcı özelliğiyle birçok kişinin eş zamanlı olarak çalışmasına olanak sağlar (SimaPro, 2019). Kullanım amacına göre SimaPro yazılımının 3 farklı sürümü mevcuttur. SimaPro'nun farklı sürümleri şu amaçlar için kullanılmaktadır: SimaPro Kompakt Sürümü hızlı sonuçlar için, SimaPro Analiz Sürümü detaylı YDD çalışmaları için ve SimaPro Geliştirici Sürümü ise YDD araçlarının yapımı için kullanılmaktadır. SimaPro veritabanının arayüzü Şekil 19'da cam ürün türleri kapmasında gösterilmiştir. Bu yazılımın özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Köşürgeli, 2022).

- Kullanıcı tarafından kendi kendine öğrenilebilir ve ISO 14040 standardını takip edebilme yeteneği,
- Her adımda direkt etki değerlendirme hesaplamalarını gerçekleştirme becerisi,
- Monte Carlo analizinin özelliklerini kullanarak, bir sistemin veya hizmetin istatistiksel olarak hassas bir şekilde üretebileceği olası çevresel etkilerin belirlenmesi,
- Analizde önemli noktaların tespiti için Ağaç Yöntemi'nin kullanımı,
- Atık yönetimi ve geri dönüşüm gibi konuların analizlerini yapabilme yeteneği.



Şekil 19. SimaPro veritabanından seçilebilecek örnek cam tipleri (Köşürgeli, 2022).

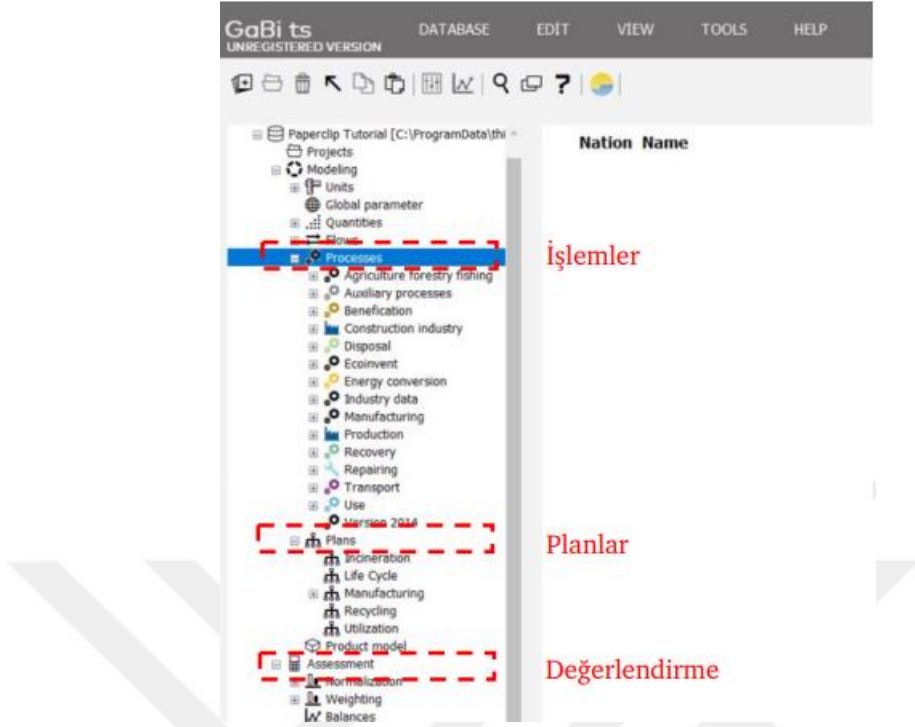
GaBi Yazılımı

Yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin kolayca uygulanabilmesini sağlamak için ISO 14040 standartları esas alarak hazırlanmış, malzemelerin yaşam döngü analizlerinin yapılmasını sağlamak ve çevresel ürün beyanlarına (EPD) veri girişi oluşturmak amacıyla Stuttgart Üniversitesi ile PE Europe GmbH tarafından 1992’de GaBi geliştirilmiştir (Şenel, 2010).

Gabi, içerisinde barındırdığı fonksiyonları modüler birimler halinde sunduğu için kolay anlaşılabilir bir özelliğdir. Yaşam döngüsü aşamaları; üretim, kullanım ve yeniden kullanım açısından incelenmektedir. Etki değerlendirmelerinde sera gazı etkisi, hammadde tüketimi, atıklar, çevresel zehirler ve ham madde tüketimi gibi çeşitli başlıkları ele alır. GaBi yazılımı; Monte Carlo analizini yapabilmekte, grafik, diyagram ve şemalarla gösterimini sunabilmekte ve görselleri word, powerpoint gibi programlara aktarabilmektedir. Ürün değişkenlerine göre farklı maliyet hesaplamaları analiz edebilmektedir. GaBi demo yazılımı arayüzü Şekil 20’de verilmiştir. Bu yazılımla birlikte amaçlanan, sürdürülebilir tasarım projelerinin hızlı ve etkili bir şekilde karşılaştırmasını yapabilmeyi sağlamaktır (Thinkstep, 2019).

GaBi yazılımının sağladığı yararlar şunlardır (Bozkurt, 2007, Thinkstep, 2019):

- Yazılımın şeffaf ve esnek olması,
- Kapsamlı bir veri tabanının tanımlanması,
- Parametre değişikliklerinin sağlanması,
- Hassas bir şekilde analiz yapabilme yeteneği,
- Hızlı analiz ve raporlama imkanı.



Şekil 20. GaBi demo yazılımı arayüzü (Köşürgeli, 2022)

Dijital Tasarım Araçları ile Ürün Seçimi

Gelişen teknolojiyle beraber geleneksel tasarım süreçlerinin yerini dijital araçlar almıştır. Bilgisayar tabanlı tasarım modelleri mimari tasarımların geliştirilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Veritabanları ve yazılımlar mimari tasarımlarda kullanılan birer dijital araçtır. Bilgisayarın belleğinde depolanan bir ya da birden fazla uygulamada kullanılan birbirleri ile ilişkili veri topluluğuna veritabanı denir. Çeşitli kurumlar tarafından geliştirilen birçok veritabanı bulunmaktadır. BIM gibi yazılımlara ait veritabanları, ArchDaily Product Search gibi çevrimiçi ürün veritabanları veya YDD için kullanılabilecek KBOB, Ecoinvent, Ökobaudat ve U.S. LCI örnekler arasında sayılabilir. (Oxman, 2006; Turan, 2009).

Bilgisayar donanımı kullanmak için gereken program topluluğuna yazılım denir. Veritabanlarının bilgileri yazılımlar sayesinde yürütülür. Tablolama, sunum ve çizim programları yazılım örneği olarak sayılabilir. Bunun gibi yazılımların geliştirilmesi sonucunda ortaya çıkan ürünlere ise program adı verilir. AutoCAD, Revit, Rhinoceros gibi programlar birer bilgisayar yazılımıdır. Tasarım amacıyla kullanılan bu programlar dijital tasarım araçları olarak kabul edilir. Dijital tasarım araçları; bilgisayar destekli tasarım

tabanlı, yapı bilgi modellemesi tabanlı ve hesaplamalı tasarım tabanlı araçlar olarak üç başlıkta toplanabilir;

Bilgisayar Destekli Tasarım Araçları

Tasarım ve üretim süreçlerindeki çeşitli fonksiyonları yerine getirmek için kullanılan teknoloji, bilgisayar destekli tasarımdır. Giderek karmaşık hale gelen proje yönetim sistemlerini düzenlemek amacıyla 1970'li yıllarda yazılım firmaları tarafından geliştirilen ve 2000'li yıllardan itibaren de aktif olarak kullanılmaya başlanılan bir teknoloji ürünüdür (Briscoe, 2006; Nalbant, 2020).

Autodesk firmasına ait AutoCAD, en bilinen ve yaygın örnektir. CAD; tasarımcılara karmaşık tasarım problemlerin çözümü, tasarım ile ilgili hızlı kararlar verme, zaman ve insan gücü tasarrufu, çalışma verimliliğini artırma, kolay dokümantasyon gibi konularda destek sağlarken grup işbirliği ile iletişim kolaylığını teşvik eder (Chang ve Shih, 2013).

Yapı Bilgisi Modellemesi Araçları

Dijital formatta bilgi alışverişini ve eş zamanlı çalışabilirliği sağlayan, yapı tasarımındaki 3 boyutlu bir yaklaşım olan yapı bilgi modellemesi; yerleştirme, bütçe hesaplama, yaşam döngü analizi gibi farklı birçok amaçta kullanılan bir elektronik model oluşturma tekniğidir (Eastman vd., 2011; Seyis, 2020).

Yapı bilgi modellemesi (Building Information Modeling-BIM); ilk başlarda ön tasarım, altyapı, inşaat gibi teknik konuları ele alırken gelişen teknolojiyle birlikte zamanla yenileme, geri dönüşüm, yeniden kullanma, onarım, bakım gibi yaşam döngü sürecinin bütün aşamalarına odaklanan dijital bir araca dönüşmüştür (Eastman vd., 2011). BIM'in üç temel özelliği bulunmaktadır:

1. Sayısal bir veritabanında yapı ile ilgili tüm bilgiler depolanır, program buradaki veriler doğrultusunda çalıştırılır.
2. Revizyonlar doğrudan bu veritabanında yapıldığından projede yapılan değişimler tüm dokümanlara (plan, kesit vb.) otomatik olarak yansır.
3. Proje süreci boyunca veritabanında toplanan tüm veriler, daha sonra gereksinim dahilinde tasarımcı, yüklenici veya yapı sahibi tarafından kullanılmak üzere depolanır (Köşürgeli, 2022).

BIM araçlarının mimari projelerde kullanımı, üretim ve uygulama özelliklerine eş zamanlı ulaşabilme, hata ve risk payını en aza indirme, yapı yaşam döngüsünü her adımda teknoloji yardımıyla uygulayabilme gibi birçok konuda tasarım ekiplerine kolaylık sağlamaktadır (Soylu, 2020).

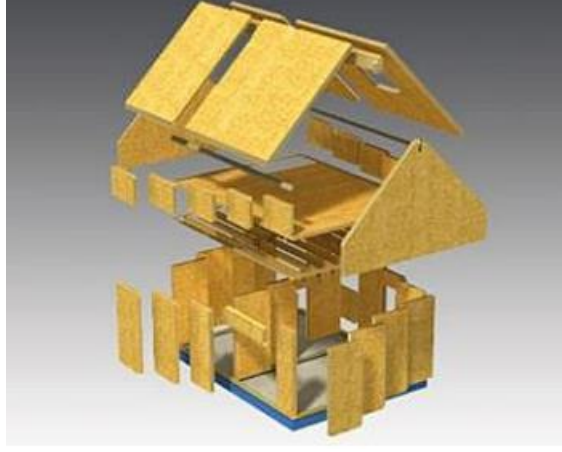
Mimarlık sektöründe Autodesk Revit Architecture, Graphisoft ArchiCAD ve Trimble Sketch Up gibi farklı kuruluşlar tarafından geliştirilen BIM araçları bulunmaktadır. Literatürdeki çeşitli araştırmalardan elde edilen verilere göre yapı sektöründe en sık tercih edilen BIM aracının Autodesk Revit olduğu gözlemlenmiştir (Kalfa, 2018).

Hesaplamalı Tasarım Araçları

Yapı tasarım problemleri hesaplamalı tasarımın algoritmik yöntemleriyle çözülür. (Terzidis, 2003). Bu tasarım sürecinde doğrudan bir yapıyı modellemek yerine komut dosyası geliştirilir. Geliştirilen bu komutlar sayesinde yapı formu modellenmeden tasarımın fiziksel performansından yapı döngüsü değerlendirmesi hesaplamaları yapılabilir (Aish, 2013; Çolakoğlu, 2011). Farklı işlemsel fonksiyonlar ile yapıdaki değişiklikler hızlı bir şekilde sağlanabilir (Caetano vd., 2020). Mimarlık sektöründe, farklı kuruluşlar tarafından geliştirilen hesaplamalı tasarım araçları arasında Rhinoceros Grasshopper ve Revit Dynamo gibi öne çıkanlar bulunmaktadır (Lim vd., 2019; Wahbeh, 2017). Literatürdeki çeşitli araştırmalardan elde edilen verilere göre, yapı sektöründe en sık tercih edilen hesaplamalı tasarım aracının Rhinoceros Grasshopper olduğu gözlemlenmiştir (Köşürgeli, 2022).

2.1.5. Endüstriyel Panel Yapım Sistemleri

Paneller, uzunluğu ve genişliği kalınlığına oranla oldukça büyük olan, yatay veya düşey yapı elemanlarını oluşturan düzlemsel hazır elemanlardır. Yapı inşasında hem bölücü hem de taşıyıcı görevler üstlenebilirler. Tek bir panel, oldukça geniş yüzeyleri ve hacimleri kapatmaya yetebileceği gibi, birçok panel bir araya gelerek de bir hacim oluşturabilir (Şekil 21) (Baş, 2019).



Şekil 21. Panel sistem ile yapı üretimi (URL-5, 2024).

Endüstriyel olarak üretilen panel yapım sistemlerinin pek çok avantajı bulunmaktadır:

- Yüksek mekanik teknolojiye sahip kontrollü üretim ortamında yüksek kaliteli ürünler üretilebilme imkânı vardır.
- Planlama sayesinde hava şartlarının etkileri minimuma indirilir.
- Belirli bir işte uzmanlaşmış kalifiye elemanlar verimliliği artırır ve hataları azaltır.
- Yapım yerinin dışında üretim ve basitleştirilmiş kurulum detayları sayesinde yapım süreci önemli ölçüde azalmıştır.
- Şantiye alanında yapılan iş azaldıkça çevreye verilen rahatsızlık ve kirlilik azalır.
- Detayların rasyonel çözümüyle birlikte etkin yalıtım sağlayan ürünler üretilebilmektedir. Bu enerji etkin elemanlar karbon emisyonuna katkı sağlamaktadır (Baş, 2019).

Ahşap Panel Yapım Sistemleri

Yapılan çalışmada seçilen bir konut yapısının YDD yazılım aracıyla çevresel etki analizleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Konutun yapım sisteminde endüstriyel panel yapım sistemi kullanılmıştır. Panel sistemin tercih edilme nedeni, analizi yapılmak üzere seçilen örnek yapının da panel sistem ile (SIP Panel) inşa edilmiş olmasıdır. Çalışma kapsamında ahşap panel yapım sistemlerinden çapraz lamine ahşap (CLT) panel ve strüktürel yalıtımlı panel (SIP) yapım sistemleri tercih edilmiştir.

Çapraz Lamine Ahşap Panel (CLT)

Çapraz Lamine Ahşap (CLT), ahşap parçaların tek sayıda (genellikle 3, 5, 7 gibi), lif yönlerinin birbirine çapraz olacak şekilde tutkallanarak, CNC (bilgisayarlı sayısal kontrollü) makineler yardımı ile şekil verilerek üretilen endüstriyel ahşap malzemedir. Masif ahşap panellerin en yaygın türü, "çapraz lamine ahşap (Cross Laminated Timber - CLT)" panellerdir (Şekil 22). Taşıyıcı olarak kullanılabilen CLT paneller endüstriyel ortamda üretilmektedir (Baş, 2019). Gerekli boyutlarda üretilen bu paneller yapıda döşeme, duvar, çatı ve merdiven elemanı olarak kullanılmaktadır (Tokyay, 2017). Yüksek prefabrikasyon derecesine sahip olan CLT paneller, yüksek katlı yapıların da inşa edilmesine imkân tanır (Baş, 2019).



Şekil 22. Çapraz lamine ahşap (Green ve Taggart,2020)

Strüktürel Yalıtımlı Panel (SIP)

Strüktürel yalıtımlı paneller (Structural Insulated Panels - SIP's), genellikle OSB levhaların arasına EPS ısı yalıtım malzemesinin yapıştırılmasıyla üretilen taşıyıcı bir malzemedir (Şekil 23). SIP'ler endüstriyel ortamda üretilir ve CNC makineleri ile şekil verilir. Bu paneller oldukça hafiftir ve yüksek enerji tasarrufu sağlayabilir (Baş, 2019).



Şekil 23. Strüktürel nitelikli kompozit panel (URL-7, 2024)

Beton Panel Yapım Sistemleri

Endüstriyel olarak üretilen beton paneller, içerdikleri doluluk-boşluk oranı ve kullanılan katmanların farklılaşmasına göre çeşitlendirilebilir. Birden çok katmandan oluşan ve genellikle içlerinde yalıtım katmanı bulunan sandviç paneller, konut üretiminde en yaygın kullanılan panel türüdür (Baş, 2019). Beton panel sistemleri literatürde farklı özelliklerde sınıflandırılmıştır. Kullanıldıkları yer, taşıma kapasitesi, boyut ve ağırlık gibi özellikler bu farklılıkta öne çıkar. Beton panellerin konut yapımında kullanımında panelin boyutları yapının oluşum sürecinde önemlidir ve boyut farklılıkları, tasarım, açıklık, yükseklik, nakliye, montaj gibi alanlarda değişiklikler getirebilir (Baş, Vural, 2019).



Şekil 24. Büyük boy beton paneller ve örnek bir uygulama (Baş,Vural, 2019)

2.2. Örnek Yapı Analizleri

Yapılan çalışmada bir konut yapısı seçilmiş, endüstriyel ahşap (SIP ve CLT Panel) ve beton panel yapım sistemleri ile yeniden kurgulanmış ve yaşam döngüsü değerlendirmesi bağlamında analiz edilmiştir. Analizlerde aşağıdaki sıra izlenmiştir:

- Yapı Seçimi ve Seçilen Yapı'nın Yeniden Kurgulanması
- Arazi Seçimi
- Yapı Malzemelerinin Temini ve Lojistik Bilgiler
- Program Seçimi ve Modelleme Süreci
- Sabit Tutulacak YDD Türleri ve Verileri

2.2.1. Yapı Seçimi ve Seçilen Yapı'nın Yeniden Kurgulanması

Bu bölümde YDD kapsamında incelenecek olan konutun nasıl belirlendiği ve kurgulandığı ele alınmıştır.

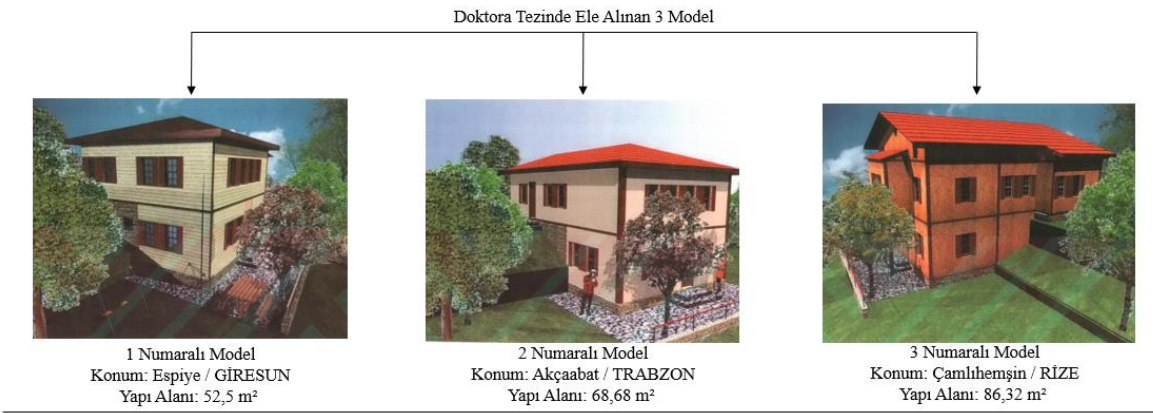
Yapı Seçimi

Hesaplamaların yapılacağı yapı örneği, Prof. Dr. Nilhan Vural'ın 'Doğu Karadeniz Bölgesi Kırsal Yerleşmelerinde Ahşap Esaslı Prefabrike Sistem Kullanımı Üzerine Bir Modelleme' adlı doktora tezinden yararlanılarak belirlenmiştir.

Vural (2005), ahşap esaslı prefabrike panel sistem kullanarak Doğu Karadeniz Bölgesindeki yöresel konutların özelliklerini, günün konfor şartına göre yorumlayarak koruyan; bölgenin iklimine, eğimli topoğrafyasına uygun, hafif ve kolay taşınabilen; hızlı ve kolay monte edilen konutlar tasarlamıştır. Bu konutlar, karakteristik dokunun ortaya çıktığı 3 ayrı bölgedeki 3 örnek konutun özelliklerinden yararlanılarak 3 ayrı model olarak (Şekil 26) tasarlanmıştır. Tez kapsamında 1 numaralı model konut, örnek yapı olarak seçilmiştir (Şekil 25).



Şekil 25. Doktora tezinden ele alınan üç yapı (Vural,2005)



Şekil 26. Doktora tezinden ele alınan üç model (Vural,2005)

Model konutların tasarımlarında yapım sistemi olarak panel sistemi kullanılmıştır. Bu nedenle yapılan çalışmalarda da yapım sistemi olarak prefabrike panel sistemler tercih edilmiştir. YDD kapsamında analizleri yapılacak sistemler bu model üzerinden yeniden kurgulanmıştır. Bu sayede bölgede bulunan, yöreye ait karakteristik yapıyı korumak amacıyla oluşturulan ve yeniden kurgulanan modelin YDD kapsamında analizleri yapılmıştır.



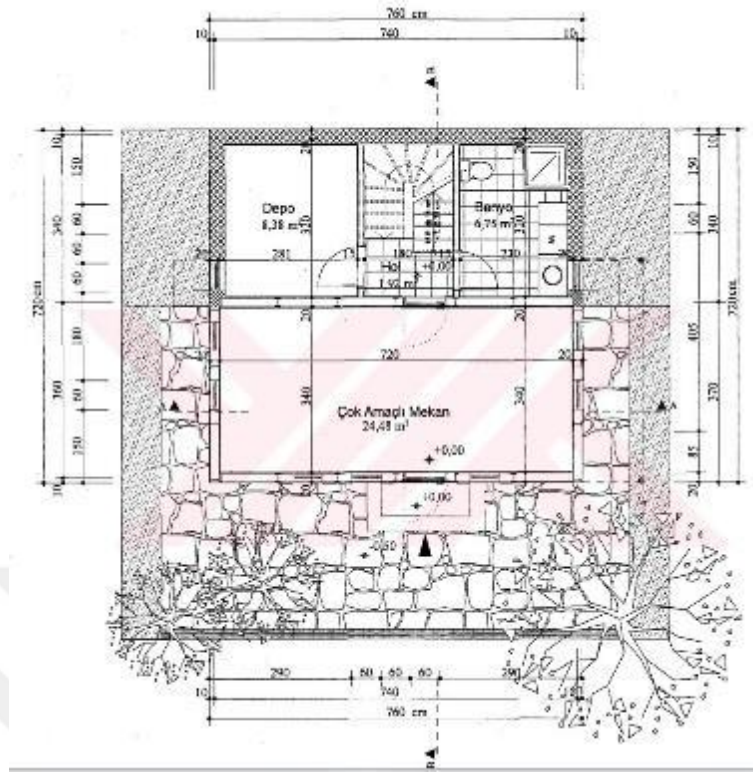
Şekil 27. 1 numaralı model konutun 3 boyutlu görselleri (Vural,2005)

Seçilen Yapının Yeniden Kurgulanması

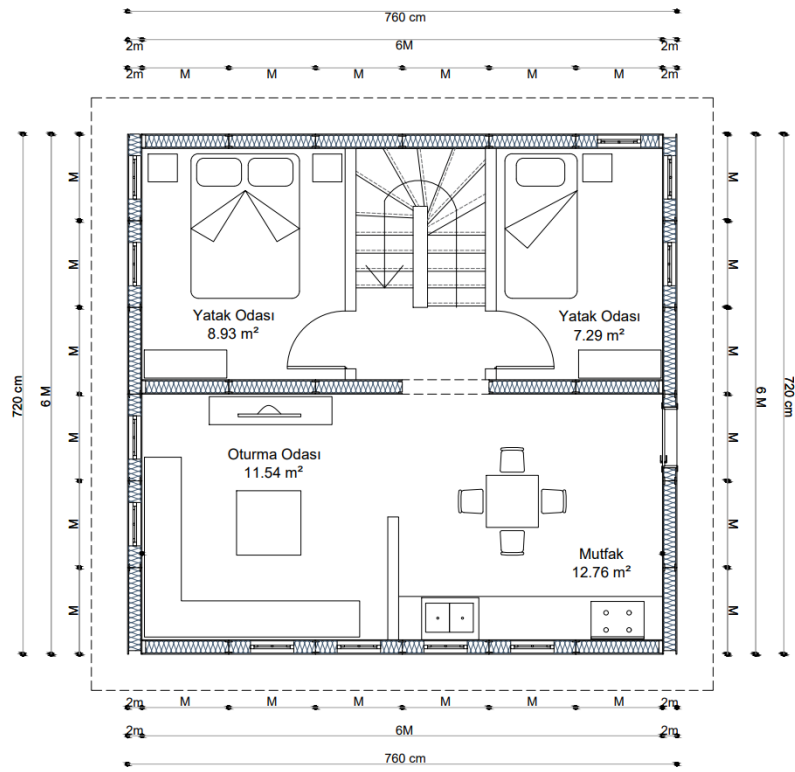
Karşılaştırmalı yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) analizi için:

1. Vural (2005)'in doktora tezinden seçilen 1 numaralı yöresel yapıyı 1 numaralı modele dönüştürdüğü tasarım seçilmiştir (Şekil 27).
2. Seçilen tasarım; ahşap esaslı SIP, CLT panel ve beton panel yapı sistemleriyle yeniden kurgulanmıştır.

1 numaralı konut modeli, iki kişinin yaşayabileceği düzeyde planlanmıştır, zemin ve asma kattan oluşmaktadır. Yapı 7,60 metre boyunda ve 7,20 metre eninde tasarlanmıştır. Zemin kat 54,72 m² ve 1. kat 54,72 m² olmak üzere toplamda 109,44 m² 'dir (Şekil 28). Zemin katta giriş, depo ve banyo, 1. katta ise mutfak, 2 adet yatak odası ve oturma odası bulunmaktadır. Yapının cephelerine, her yönden güneş almasını sağlayan pencereler yerleştirilmiştir (Vural, 2005) (Şekil 29). Yapı ile ilgili detaylar Ekler bölümünde yer almaktadır (Ek Şekil 3-22).

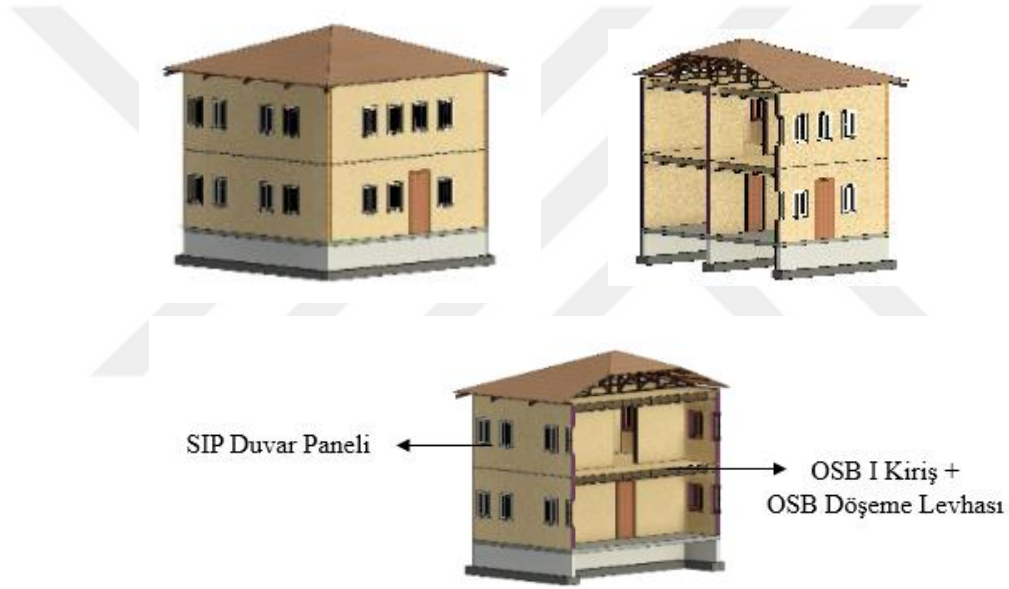


Şekil 28. Zemin kat mimari planı (Vural,2005)



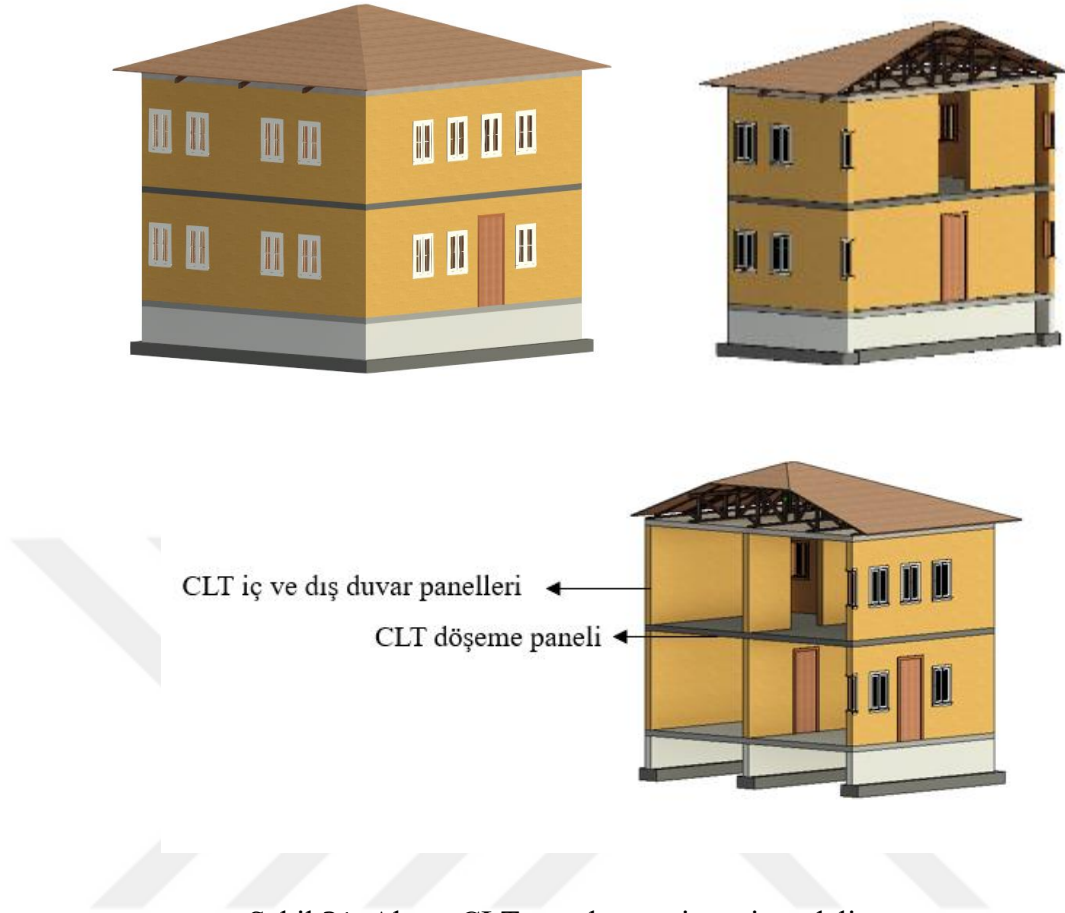
Şekil 29. I. kat mimari planı (Vural, 2005)

YDD çalışması yapılan ilk yapı SIP yapı sistemi ile oluşturulmuştur (Şekil 30, Ek Şekil 14,17,20). Yapının çatı sisteminde ahşap makaslar ve galvanize çatı örtü, temel sisteminde betonarme, döşeme sisteminde OSB I kirişler ve OSB döşeme levhası kullanılmıştır. İç duvarlar ve dış duvarlar SIP panel ile kurgulanmıştır. Sabit tutulan YDD verileri kapsamında One Click LCA programında yeniden kurgulanan tüm modellerin 60 yıllık yaşam ömrü hesaplanmıştır. Yeniden kurgulanan tüm modellerde kullanılan yapı malzemelerinin nakliye süreci ve uzaklık hesaplamaları ‘Yapı Malzemelerinin Temini ve Lojistik Bilgiler’ başlığında belirtilmiştir. 60 yıllık YDD sürecinde yapı malzemelerinin kullanım ömrü One Click LCA programında kayıtlı EPD’ler tarafından otomatik hesaplanmaktadır.



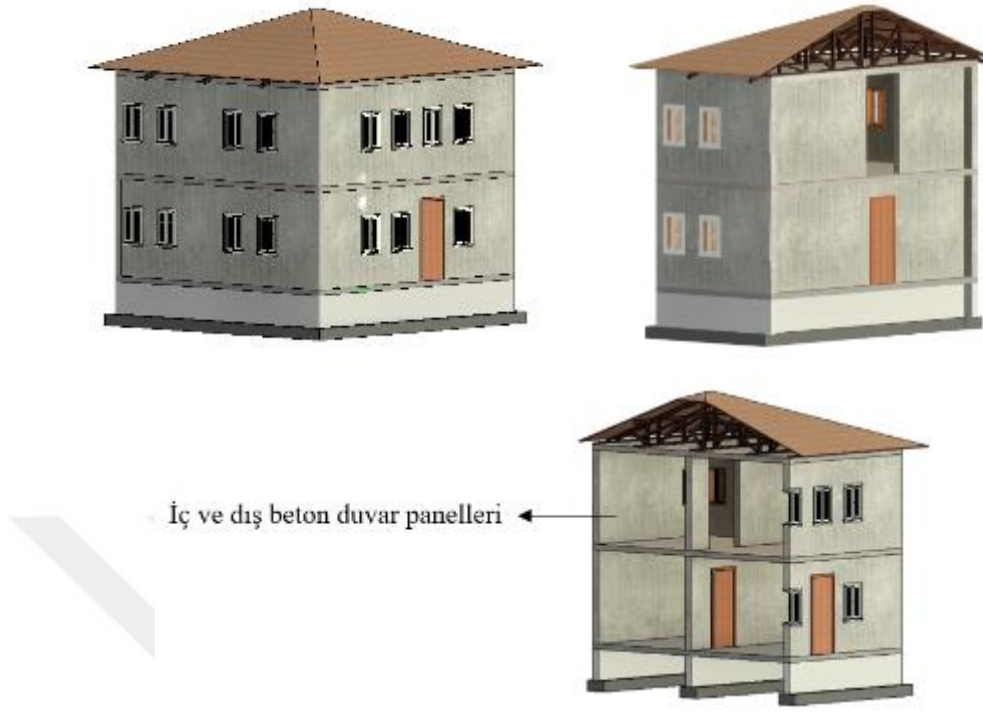
Şekil 30. Ahşap SIP panel yapı sistemi modeli

YDD çalışması yapılan ikinci yapı CLT panel sistem ile oluşturulmuştur (Şekil 31, Ek Şekil 15,18,21). Yeniden kurgulanan yapı sisteminin çatısında ahşap makaslar ve galvanize çatı örtüsü, temel sisteminde betonarme kullanılmıştır. İç duvarlar, dış duvarlar ve döşeme CLT panel sistem ile kurgulanmıştır.



Şekil 31. Ahşap CLT panel yapı sistemi modeli

YDD çalışması yapılan üçüncü yapı, beton panel yapı sistemidir (Şekil 32, Ek Şekil 16,19,22). Yeniden kurgulanan yapı sisteminin çatı sisteminde ahşap makaslar ve galvanize çatı örtüsü temel ve döşeme sisteminde beton panel kullanılmıştır. İç duvarlar ve dış duvarlar beton panel olarak kurgulanmıştır.



Şekil 32. Beton panel yapı sistemi modeli

2.2.2. Arazi Seçimi

Çalışmanın yöreye ait olması için doktora tezinde belirlenen alan değiştirilmemiştir. Ancak çalışmanın kapsamı doğrultusunda arazi eğimli değil düz olarak kabul edilmiştir. Seçilen model Giresun ili Espiye ilçesi Demircili köyünde konumlanmaktadır (Şekil 34) (Vural, 2005).



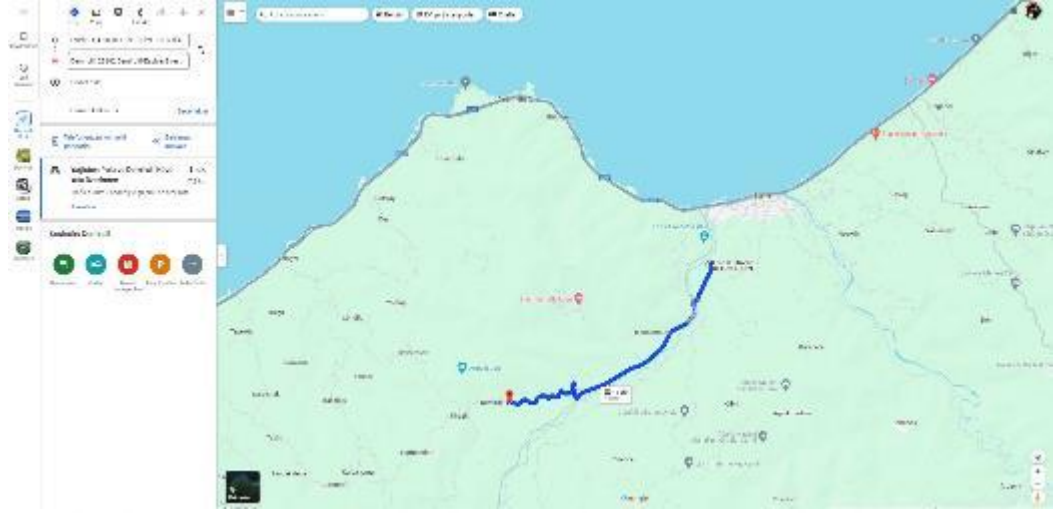
Şekil 33. Proje alanı ve komşu parseller.

2.2.3. Yapı Malzemelerinin Temini ve Lojistik Bilgiler

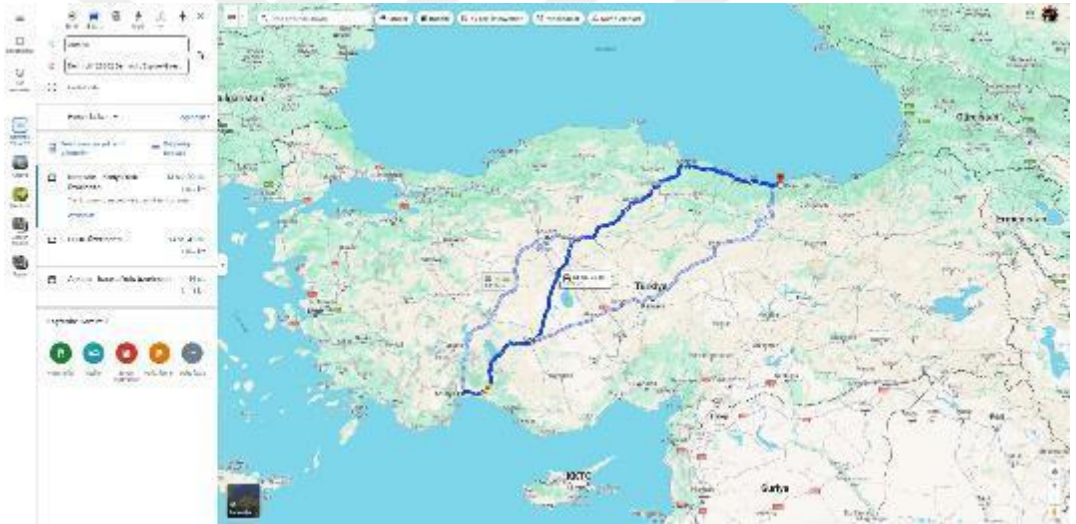
Yapının konumlandığı arazi seçiminin ardından, temin edilecek olan tüm yapı malzemelerinin lojistik hesaplamaları yapılmıştır. SIP paneller, CLT paneller, betonarme paneller vb. yapı malzemelerinin sipariş edildiği bölgeden araziye gelene kadar hangi ağır vasıta ile taşınacağı ve yaklaşık kaç km mesafe katedecekleri tespit edilmiştir.

Buna göre;

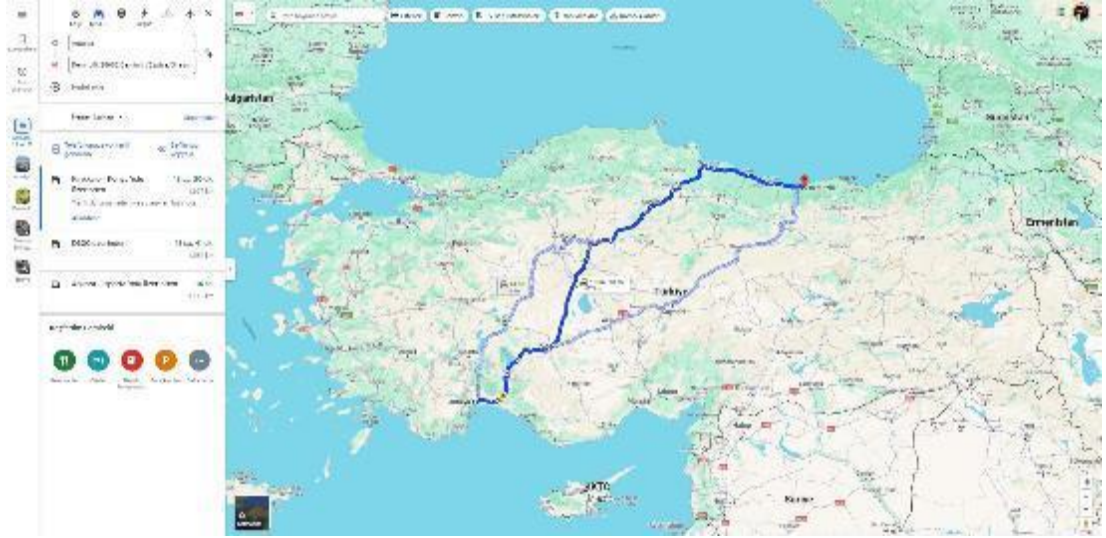
- Beton panellerin temin edileceği bölgeye göre, güzergahı ve katedeceği mesafe 7.5 km olarak hesaplanmış ve Şekil 34’de gösterilmiştir.
- CLT panellerin temin edileceği bölgeye göre, güzergahı ve katedeceği mesafe 1077 km olarak hesaplanmış ve Şekil 35’de gösterilmiştir.
- SIP panellerin temin edileceği bölgeye göre, güzergahı ve katedeceği mesafe 1077 km olarak hesaplanmış ve Şekil 36’de gösterilmiştir.
- Isı yalıtım malzemelerinin temin edileceği bölgeye göre, güzergahı ve katedeceği mesafe 27 km olarak hesaplanmış ve Şekil 37’de gösterilmiştir.
- Kapı ve pencerelerin temin edileceği bölgeye göre, güzergahı ve katedeceği mesafe 10.4 km olarak hesaplanmış ve Şekil 38’de gösterilmiştir.
- OSB levhaların temin edileceği bölgeye göre, güzergahı ve katedeceği mesafe 25.3 km olarak hesaplanmış ve Şekil 39’de gösterilmiştir.
- Çatı kaplama malzemelerinin temin edileceği bölgeye göre, güzergahı ve katedeceği mesafe 30,4 km olarak hesaplanmış ve Şekil 40’de gösterilmiştir.



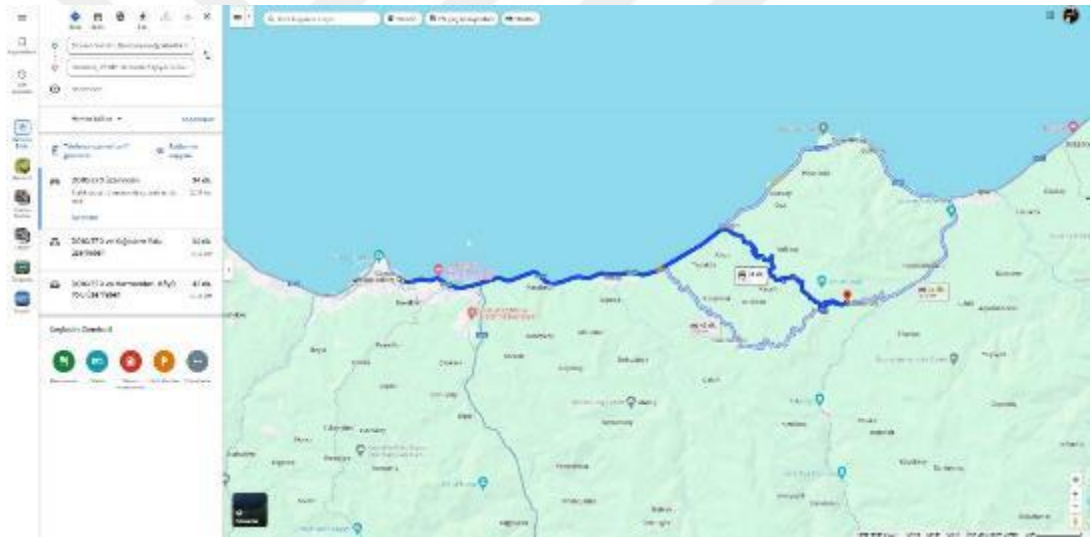
Şekil 34. Beton panellerin güzergahı ve katedeceği mesafe 7.5km.



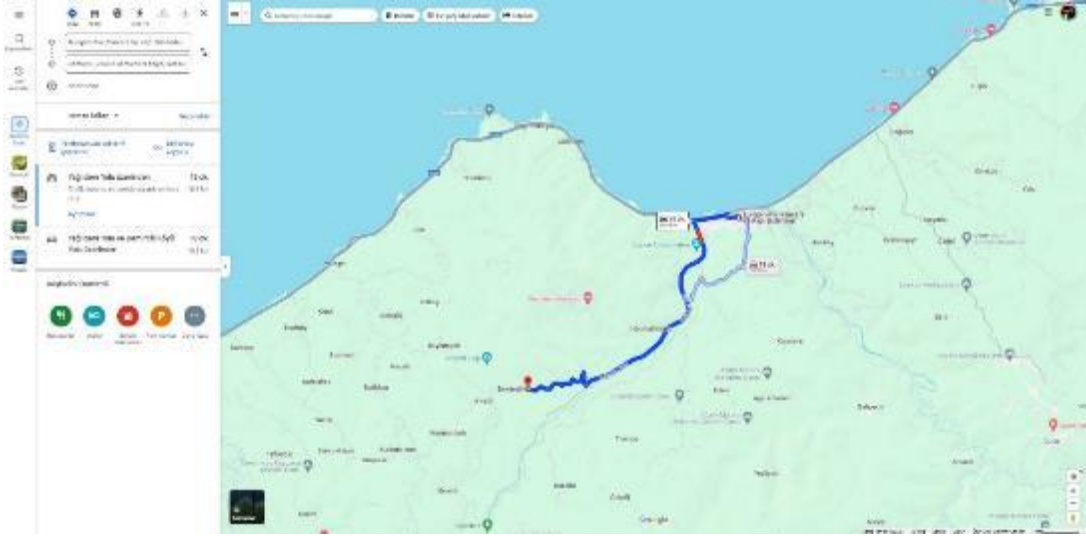
Şekil 35. CLT panellerin güzergahı ve katedeceği mesafe 1077km.



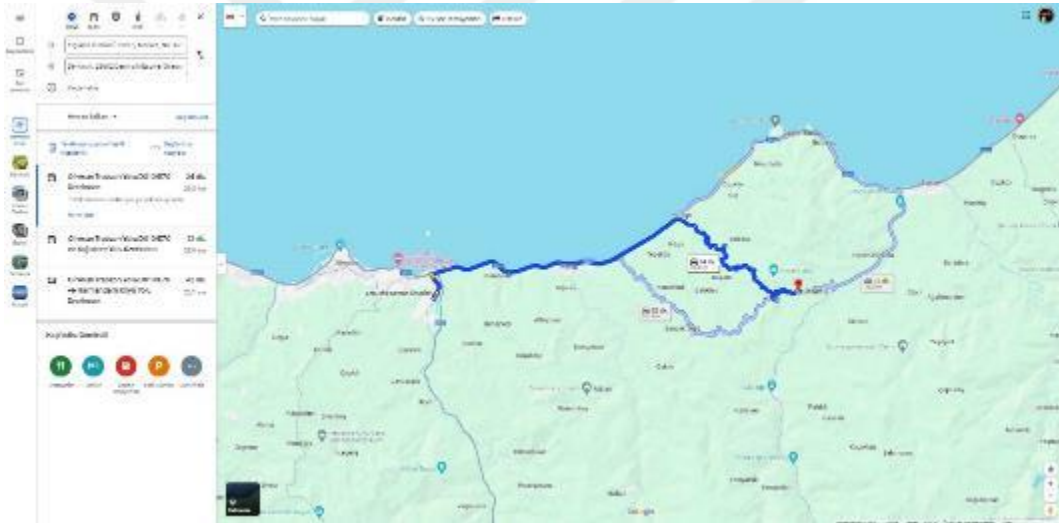
Şekil 36. SIP panellerin güzergahı ve katedeceği mesafe 1077km.



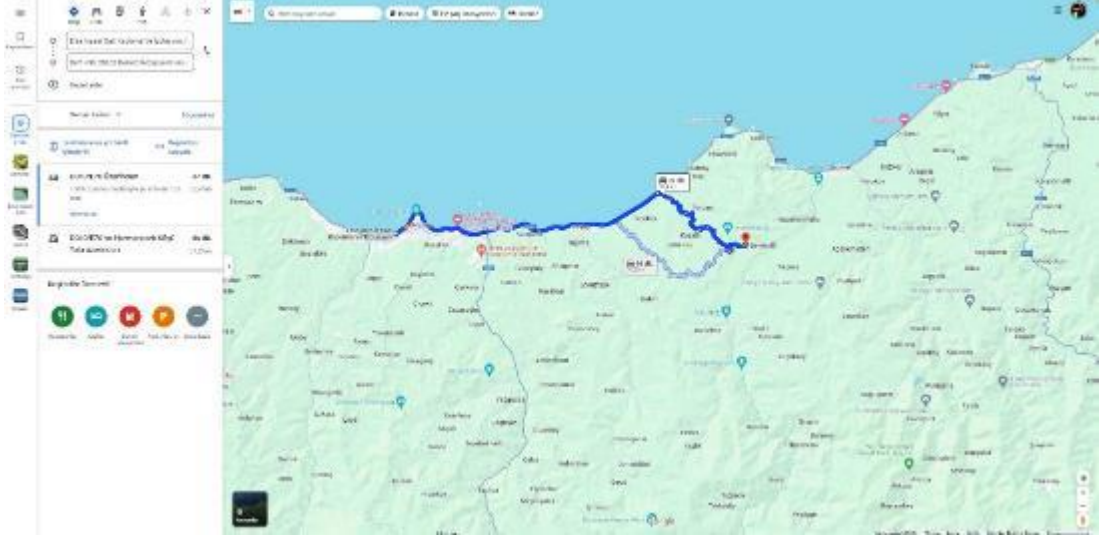
Şekil 37. Isı yalıtım malzemelerinin güzergahı ve katedeceği mesafe 27km.



Şekil 38. Kapı ve pencerelerin güzergahı ve katedeceği mesafe 10.4km.



Şekil 39. OSB levhaların güzergahı ve katedeceği mesafe 25.3km.



Şekil 40. Çatı kaplama malzemelerinin güzergahı ve katedeceği mesafe 30.4km.

2.2.4. Program Seçimi ve Modelleme Süreci

SIP, CLT ve beton panel ile yeniden kurgulanan yapı modelleri, Yapı Bilgi Modellemesi araçlarından olan ‘Revit Architecture’ da katmanlarıyla birlikte modellenmiştir. YDD hesaplamaları için ise çeşitli hesaplama programları olan Athena, Bombyx, ve One Click LCA araçları arasından ‘One Click LCA’ aracı seçilmiştir.

One Click LCA, web ve bulut tabanlı bir otomatik YDD aracıdır. Bu yazılım, yapıların ve yapı ürünlerinin çevresel etkilerini hesaplamak, değerlendirmek ve sürdürülebilir tasarımlar oluşturmak amacıyla geliştirilmiştir. One Click LCA aracı, malzemelere ait bilgileri mevcut ülke konum şartlarıyla eşleştirme imkanı sunar. Aynı şekilde, yakıt verileri için de Enerji Koruma Ajansı’nın Türkiye verilerine göre hesaplama yapmaktadır. Bunun yanı sıra, yazılım içinde yapı malzemelerini seçmek, değiştirmek ve karbon emisyonlarını azaltma senaryolarını simüle etmek mümkündür.

One Click LCA, veri tabanı olarak “Çevresel Ürün Beyannameleri”ni (EPD) kullanmaktadır. Bu EPD'ler, TS EN 15804 (2012) ve ISO 14025 (2008) standartlarına uygun olup yapı ürünleri hakkında ayrıntılı teknik açıklamalar içermektedir. Dahil edilen tüm AB veri tabanları TS EN 15804 standardına, Kuzey Amerika veri tabanları ise ISO 14040 (2007) ve ISO 14044 (2007) standartlarına uygundur. Şu anda, veri tabanında 10.000'den fazla farklı yapı malzemesi bulunmaktadır. Yerel yapı malzemeleri için kapsamlı bir Yerel Doğrulama Dizini veri tabanı bulunmamakla birlikte, yazılım yerel bir

telafi yöntemi kullanarak, belirli bir bölgede yerel üretim koşullarıyla eşleşen sonuçlar elde etmeye olanak tanımaktadır.

Üç farklı yapı malzemesiyle oluşturulmuş modeller önce Revit programında modellenmiştir. Ardından Revit içerisinde eklentisi bulunan One Click LCA yazılımına aktarılmıştır. Süreçler için gerekli bilgiler yazılıma girildikten sonra 6 farklı bulgu elde edilmiştir. Bu bulguların 3 farklı model üzerinde karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. SIP, CLT ve beton paneller ile yeniden kurgulanan konut modellerinin YDD analizi için sırasıyla aşağıdaki aşamalar izlenmiştir:

1. Modeller Revit programına aktarılmıştır.
2. Aktarılan modeller, Revit içerisinde eklentisi bulunan One Click LCA yazılımı ile yeniden değerlendirilmiştir.
3. Süreçler için gerekli bilgiler yazılıma girilmiş ve 6 farklı bulgu elde edilmiştir.
4. Elde edilen bulguların 3 farklı yapı sistemine oluşturulan modeller üzerinde karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.
5. YDD aracı olan One Click LCA üzerinde bulunan farklı üreticilerin EPD'lerine dayalı uygun malzemeler seçilmiş, malzemelerin m3 ve m2 değerleri Revit yazılımından modellenerek hesaplanmıştır.

2.2.5. Sabit Tutulacak YDD türleri ve Verileri

YDD kapsamında girilecek veriler doğrultusunda, yapının kaynak tüketimleri belirlenmelidir. Bu doğrultuda yapının;

- Kullanıcı sayısı:2,
- Günlük kullanım saati: 16 saat,
- Yapı ömrü: Yılda 365 gün toplam 60 yıl,
- Yıllık elektrik tüketimi: 3188 kWh
- Yıllık temiz su tüketimi: 166,44 m³
- Yıllık doğalgaz tüketimi: 923 m³

kullanacağı kabul edilmiştir.

Elektik Tüketimi

Tüketim verilerinde elektrik tüketimine dair olan bilgi (B6) için TEDAŞ'ın 2021 yılı ortalarında oluşturduğu, '2020 Yılı Türkiye Elektrik Dağıtım Sektör Raporu'

kullanılmıştır. Elektrik tüketimi, projenin yer aldığı Giresun konumuna bakıldığında, 2021 yılına dair kişi başı ortalama tüketim 1594 kWh olarak belirtilmiştir. Projede iki kişinin yaşadığı baz alındığında yıllık elektrik tüketimi ‘3188 kWh’ olarak elde edilmektedir (Şekil 42) (Tedaş, 2021).

İLLERDE KİŞİ BAŞINA DÜŞEN NET ELEKTRİK TÜKETİMLERİ (2021)					
					Birim: kWh/kişi
ADANA	3.531	GÜMÜŞHANE	2.543	SİNOP	1.793
ADIYAMAN	2.099	HAKKARİ	1.020	SİVAS	2.386
AFYONKARAHİSAR	2.865	HATAY	4.442	TEKİRDAĞ	7.637
AĞRI	944	ISPARTA	3.117	TOKAT	1.521
AMASYA	2.106	MERSİN	3.173	TRABZON	1.866
ANKARA	2.810	İSTANBUL	2.621	TUNCELİ	1.597
ANTALYA	3.348	İZMİR	4.983	ŞANLIURFA	2.942
ARTVİN	2.650	KARS	1.156	UŞAK	5.201
AYDIN	2.688	KASTAMONU	2.960	VAN	958
BALIKESİR	3.420	KAYSERİ	3.029	YOZGAT	1.962
BİLEÇİK	11.004	KIRKLARELİ	7.412	ZONGULDAK	5.433
BİNGÖL	1.131	KIRŞEHİR	2.768	AKSARAY	2.944
BİTLİS	1.116	KOCAELİ	7.906	BAYBURT	1.286
BOLU	4.402	KONYA	4.130	KARAMAN	3.983
BURDUR	3.581	KÜTAHYA	3.878	KIRIKKALE	3.324
BURSA	4.318	MALATYA	2.231	BATMAN	1.535
ÇANAKKALE	7.739	MANİSA	3.878	ŞIRNAK	1.175
ÇANKIRI	3.425	KAHRAMANMARAŞ	5.134	BARTIN	4.245
ÇORUM	1.756	MARDİN	2.804	ARDAHAN	1.402
DENİZLİ	4.009	MUĞLA	3.552	İĞDIR	1.071
DİYARBAKIR	1.760	MUŞ	1.056	YALOVA	4.672
EDİRNE	3.152	NEVŞEHİR	2.618	KARABÜK	7.602
ELAZIĞ	3.306	NİĞDE	3.784	KİLİS	4.050
ERZİNCAN	2.837	ORDU	1.807	OSMANİYE	7.633
ERZURUM	1.428	RİZE	2.231	DÜZCE	3.038
ESKİŞEHİR	4.117	SAKARYA	3.927		
GAZİANTEP	4.281	SAMSUN	2.696		
GİRESUN	1.594	SİRT	1.452	TÜRKİYE	3.386

Şekil 41. 2021 yılı illere göre kişi başı elektrik tüketimi (kWh/kişi) (Tedaş, 2021).

Temiz Su Tüketimi

B7 evresinde yıllık bazda su tüketimi One Click LCA yazılımına işlenmektedir. Bu aşamada en güncel veri olan TÜİK verileri kullanılmıştır (Şekil 43). Giresun ilinin kişi başına düşen günlük su tüketimi verisi bulunmadığı için Türkiye tüketiminde günlük kişi başı tüketim verisi olan 228 litre esas alınmıştır. Bu veri, yıllık bazda kişi başına 83,22 m³

olarak belirlenmiştir. Sabit tutulan kullanıcı verisi 2 olduğundan yıllık su tüketimi 166,44 m³ olarak elde edilmektedir (TÜİK, 2020).

Belediye su-atıksu göstergeleri, 2018, 2020

	2018	2020
Toplam belediye sayısı	1 399	1 389
İçme ve kullanma suyu şebekesi ile hizmet verilen belediye sayısı	1 397	1 387
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye sayısı	1 357	1 362
İçme ve kullanma suyu şebekesi ile hizmet verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı (%)	98,6	98,7
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye nüfusunun toplam belediye nüfusuna oranı (%)	90,7	91,1
İçme ve kullanma suyu şebekesi ile çekilen toplam su miktarı (milyon m ³)	6 193	6 492
İçme ve kullanma suyu şebekesi ile dağıtılan toplam su miktarı (milyon m ³)	4 045	4 309
İçme ve kullanma suyu arıtma tesislerinde arıtılan su miktarı (milyon m ³)	3 574	3 900
Alıcı ortamlara deşarj edilen toplam atıksu miktarı (milyon m ³)	4 795	4 960
Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan toplam atıksu miktarı (milyon m ³)	4 236	4 358
Arıtılarak deşarj edilen atıksu oranı (%)	88,3	87,9
Arıtmadan deşarj edilen atıksu oranı (%)	11,7	12,1
Kişi başı çekilen günlük ortalama su miktarı (litre/kişi-gün)	224	228
Kişi başı deşarj edilen günlük ortalama atıksu miktarı (litre/kişi-gün)	188	189

Şekil 42. TÜİK su tüketimleri verisi (TÜİK, 2020)

Doğalgaz Tüketimi

(B6) İşletme enerji kullanımı evresinde doğalgaz tüketimine dair veri Türkiye Doğalgaz Dağıtıcıları Birliği (GAZBİR) tarafından güncel olarak en son paylaşılan, GAZBİR 2022 Yılı Doğal Gaz Dağıtım Sektörü Raporu'dan kullanılmıştır. Raporla tüketim başlığı altında il bazlı yıllık tüketim ve il bazlı hane başı tüketim verileri paylaşılmıştır. Bu veriler hesaplanırken kış dönemi 2021 yılının Kasım, Aralık ayları, 2022 yılının ise ilk 3 ayı baz alınmıştır. Rapordan elde edilen verilere göre, Giresun ilinde 2022 yılında hane başı ortalama tüketim 923 m³ olarak belirtilmiştir (Şekil 44). Proje hane olarak baz alındığından yıllık doğal gaz tüketimi 923 m³ olarak elde edilmektedir (GAZBİR,2022).



Şekil 43. 2022 yılı illere göre yıllık hane başı doğal gaz tüketimi (m3) (GAZBİR,2022)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, tez kapsamında (Vural, 2005) örnek yapı olarak seçilen 1 numaralı model referans alarak yeniden kurgulanan üç farklı yapıım sisteminin, aşağıdaki 6 farklı etki kategorisinde bulguları elde edilmiş ve TS EN 15978 standardı çerçevesinde One Click LCA yazılımı kullanılarak irdelenmiştir.

Bu kategoriler;

1. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP),
2. Asitleşme Potansiyeli (AP),
- 3.Ötrofikasyon Potansiyeli (EP),
4. Ozon delme Potansiyeli (ODP),
5. Alt atmosferde (Fotokimyasal) Ozon Oluşumu (POCP) ve
6. Net Su Kullanımı (FW)'dir.

Çevresel etki kategorilerinin tanımları, yöntem bölümünde yer alan verilerin yazılıma girmesi sonucu elde edilen etki değerleri, yeniden kurgulanan 3 yapı modelinin karşılaştırmalı olarak analizleri ve YDD süreçlerine göre ayrı ayrı etki değerleri tablolar halinde irdelenmiştir.

Çevresel etki değerlerinin birimleri Tablo 3'de belirtildiği gibidir.

Tablo 3. Çevresel etki kategorileri ve birimleri (TS EN 15978 ,2012)

Etki Kategorisi	Birim
Küresel ısınma potansiyeli, GWP	kg CO ₂ eq
Toprağın ve suyun asitleşme potansiyeli, AP	kg SO ₂ eq
Ötrofikasyon potansiyeli, EP	kg PO ₄ -3 eq
Ozon tabakasının delme potansiyeli, ODP	kg CFC11e
Alt atmosferde ozon oluşumu potansiyeli, POCP	kg Etilen e
Net Su kullanımı	m ³

3.1. Küresel Isınma Potansiyeline (GWP) İlişkin Bulgular ve Tartışma

Küresel ısınma potansiyeli, atmosferde artan sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel yüzey sıcaklığındaki değişimi ifade etmektedir. Çıktılar, karbonmonoksit eşdeğeri (CO₂ eq) birimi ile ifade edilmektedir (One Click LCA, 2021a).

Tablo 4’de elde edilen küresel ısınma potansiyeli (GWP) sonuçlarına bakıldığında; YDD süreçlerinde toplam (A1-A3+A4+A5+B4-B5+B6+B7+C2+C3+C4) 306795.07 kg CO₂ eq yayarak küresel ısınma potansiyeline en yüksek etki, beton panel ile oluşturulan yapı modeline aittir. İkinci sırada olan CLT panel yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam 304135.38 kg CO₂ eq yayarken, SIP panel yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam 303116.9 kg CO₂ eq salınım değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 4. GWP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg CO₂ eq)

<i>YAPI</i>	<i>A1 – A3</i>	<i>A4</i>	<i>A5</i>	<i>B4 – B5</i>	<i>B6</i>
<i>BETON</i>	20907,37499	170,4084444	1218,035417	1282,180091	251293
<i>CLT</i>	17971,91947	337,2922907	2037,526167	1282,180091	251293
<i>SIP</i>	17623,50112	64,67450806	1553,694185	1282,180091	251293

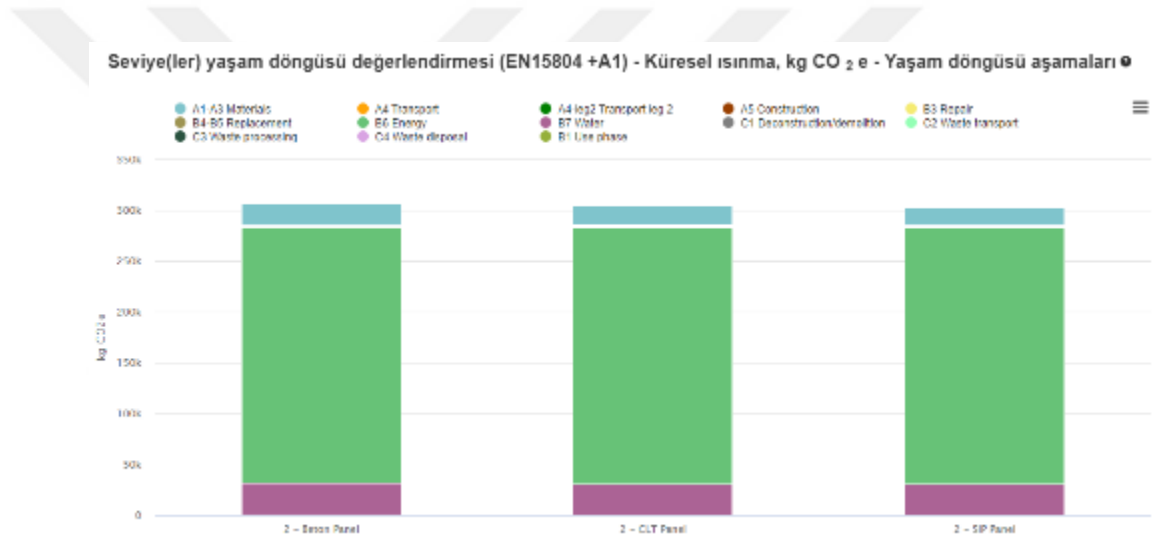
Tablo 5. GWP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg CO₂ eq) (devamı)

<i>YAPI</i>	<i>B7</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>
<i>BETON</i>	30971,47643	513,148998	1,08627898	438,6172252
<i>CLT</i>	30971,47643	136,8807595	1,08627898	104,2724537
<i>SIP</i>	30971,47643	190,6673778	2,124037964	135,8357796

Küresel ısınma potansiyeli sonuçları ele alındığında en çok etki eden sürecin enerji tüketimi (B6) olduğu gözlemlenmektedir. Ardından en çok etki eden süreç işletme su kullanımı (B7)’dir. Bu süreçte her bir yapı 30791.48 kg CO₂ eq salınım yapmaktadır. Sabit tutulan verilerden dolayı bu üç yapı modelinde de değerler eşit olmaktadır.

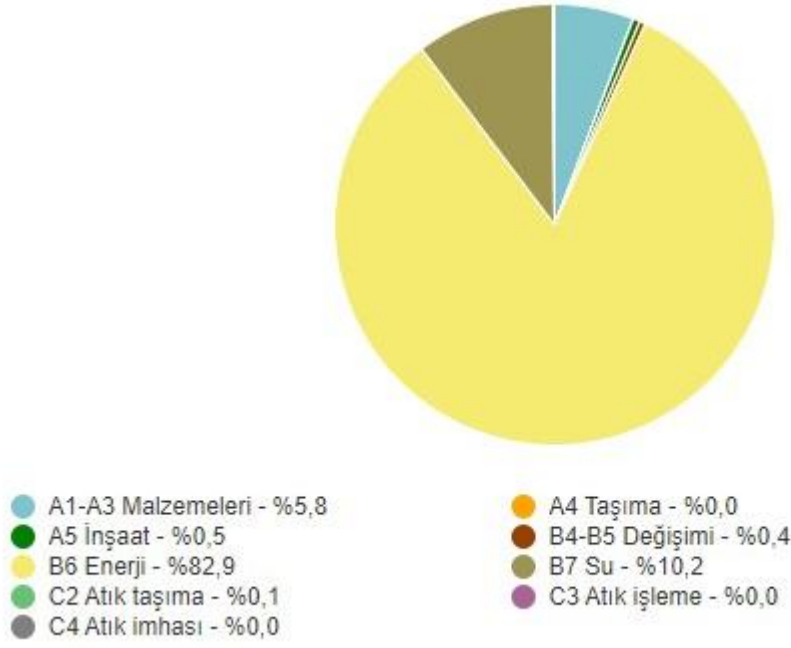
Küresel ısınma potansiyeline en çok etki eden üçüncü süreç, üretim aşamasıdır (A1-A3). Bu süreçte beton panel yapı modeli 20907.37 kg CO₂ eq salınım değeriyle birinci sırada yer almaktadır. İkinci sırada olan CLT panel yapı modeli 17971.92 kg CO₂ eq yayarken, SIP panel yapı modeli 17623.50 kg CO₂ eq salınım değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır.

Şekil 45’de yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin, küresel ısınma potansiyeli (GWP) kapsamında karşılaştırmalı grafiği sonuçları incelendiğinde, yapılarda en çok etki eden sürecin enerji tüketimi (B6) olduğu görülmektedir.

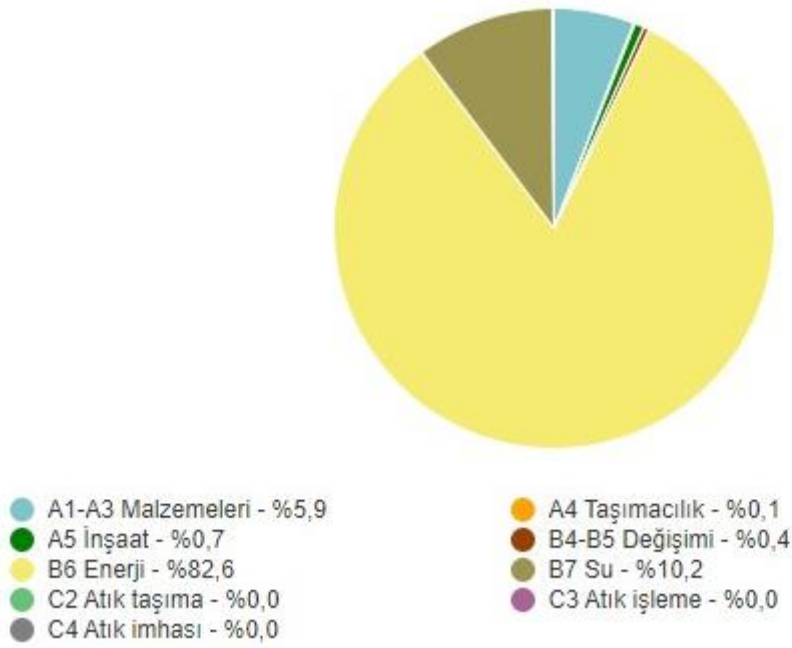


Şekil 44. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin küresel ısınma potansiyeli kapsamında karşılaştırmalı grafiği

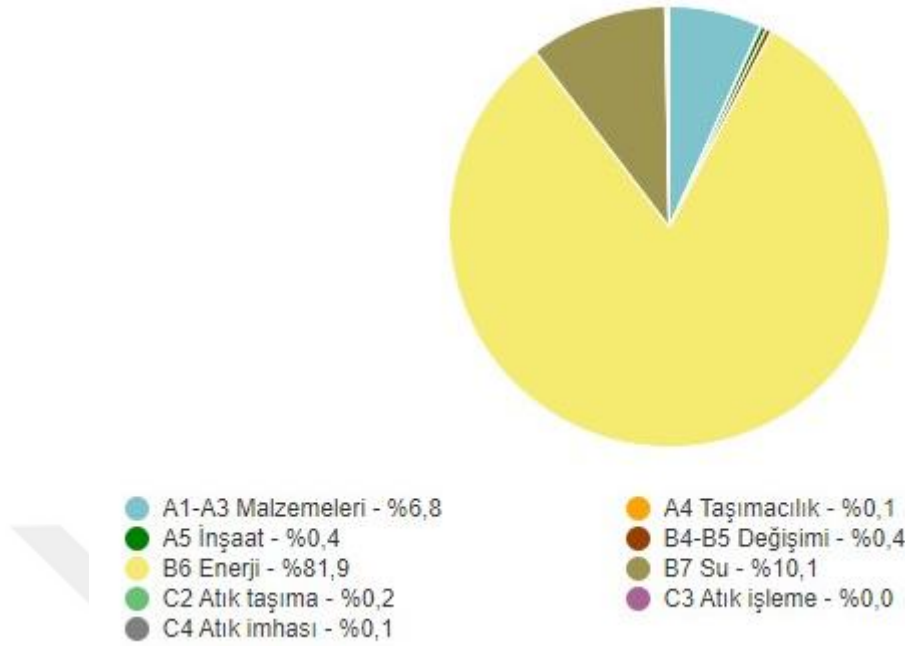
Şekil 46’da ahşap SIP panelin, Şekil 47’de ahşap CLT panelin ve Şekil 48’de beton panel yapı sistemlerinin bütün YDD süreçlerine göre küresel ısınma potansiyeli (GWP) ve bu süreçlerin yüzdelik değerleri paylaşılmıştır. Tüm bu süreçlerde en yüksek yüzdeyi (B6) enerji aşamasının ardından (B7) su kullanımı aşamasının oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 45. Ahşap SIP yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre küresel ısınma etkileri



Şekil 46. Ahşap CLT yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre küresel ısınma etkileri



Şekil 47. Beton yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre küresel ısınma etkileri

3.2.Asitleşme Potansiyeline (AP) İlişkin Bulgular ve Tartışma

Asitleşme potansiyeli, maddelerin çevredeki asitleştirici etkilerini tanımlamaktadır. Karbondioksit (CO_2) gibi maddelerin su içinde kolayca çözünmesi, asitlik seviyelerini artırarak suların genel olarak asitlenmesine ve küresel etkilere yol açmaktadır. Toprak ve suların asitlenmesi, hava kirleticilerinin asitlere dönüşmesi sonucu ortaya çıkmakta ve bu durum yağmur suyu ve sisin pH değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Asitleşme potansiyeli birimi, CML tabanlı yöntemle göre çıktıları sülfür dioksit (SO_2) eşdeğerleriyle ifade etmektedir (One Click LCA, 2021a).

Tablo 6'daki grafikte karşılaştırmalı olarak gösterilen asitleşme potansiyeli (AP) sonuçlarına bakıldığında; SIP panel yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam ($A1+A3+A4+A5+B4-B5+B6+B7+C2+C3+C4$) 1303.57 kg SO_2 e salınım değeriyle asitleşme potansiyelinde en yüksek etkiye sahiptir. İkinci sırada olan CLT panel yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam 1290.32 kg SO_2 e yayarken, beton panel yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam 1282.54 kg SO_2 e salınım değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 6. AP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg SO₂e)

<i>YAPI</i>	<i>A1 – A3</i>	<i>A4</i>	<i>A5</i>	<i>B4 – B5</i>	<i>B6</i>
BETON	82,72597742	0,269879788	5,736960474	10,12024282	965,13036
CLT	88,21616095	1,432649871	11,02659519	10,12024282	965,13036
SIP	102,9519211	0,145307504	10,3469369	10,12024282	965,13036

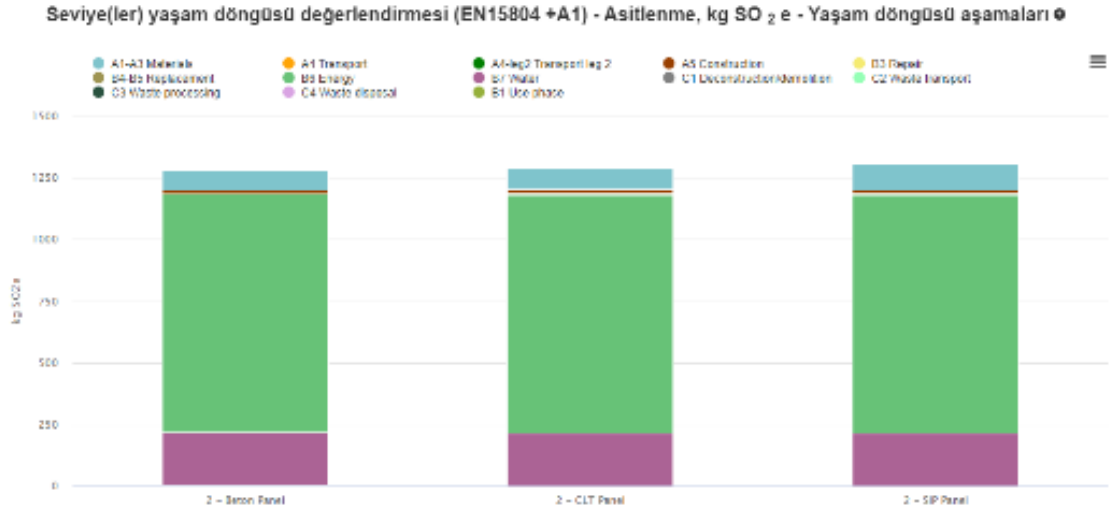
Tablo 7. AP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg SO₂e) (devamı)

<i>YAPI</i>	<i>B7</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>
BETON	212,9954701	2,3311978	0,007621819	3,225273902
CLT	212,9954701	0,6227719	0,007621819	0,766744223
SIP	212,9954701	0,86817667	0,014903602	0,998838097

Asitleşme potansiyeli sonuçları ele alındığında en çok etki eden sürecin enerji tüketimi (B6) olduğu gözlemlenmektedir. Ardından en çok etki eden sürecin işletme su kullanımı (B7) olduğu belirlenmiştir. Bu süreçte her bir yapı 213.00 kg SO₂e salınım yapmaktadır. Sabit tutulan verilerden dolayı bu üç yapı modelinde de değerler eşit olmaktadır.

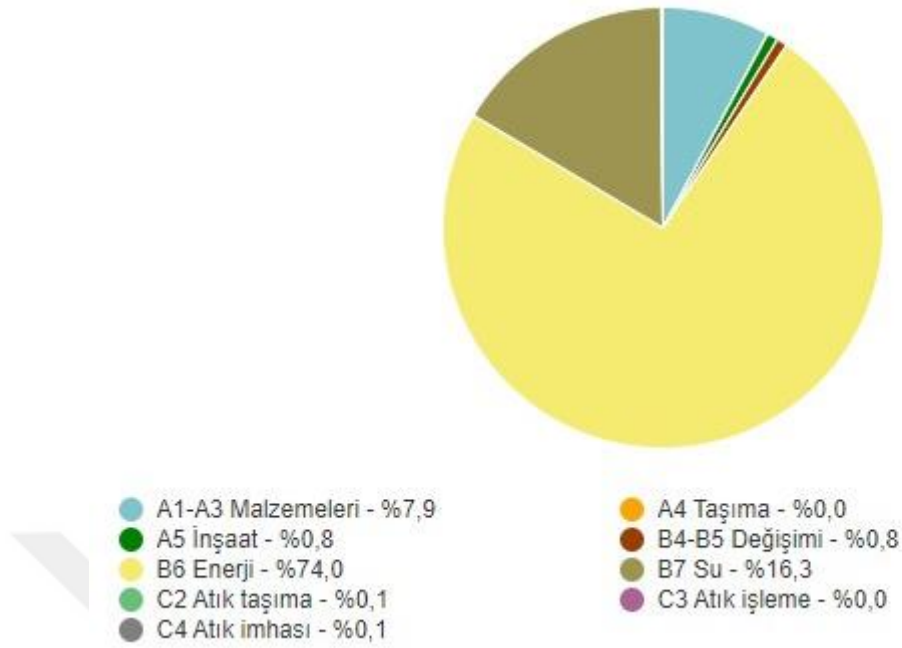
Asitleşme potansiyeline en çok etki eden üçüncü süreç, üretim aşamasıdır (A1-A3). Bu süreçte SIP panel yapı modeli 102.95 kg SO₂e salınım değeriyle birinci sırada yer almaktadır. İkinci sırada olan CLT panel yapı modeli 88.22 kg SO₂e yayarken, beton panel yapı modeli 82.73 kg SO₂e salınım değeriyle üçüncü sıradadır.

Şekil 49 ‘da yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin, asidifikasyon potansiyeli (AP) kapsamında karşılaştırmalı grafiğine bağlı sonuçlar incelendiğinde, yapılarda en çok etki eden sürecin enerji tüketimi (B6) olduğu görülmektedir.

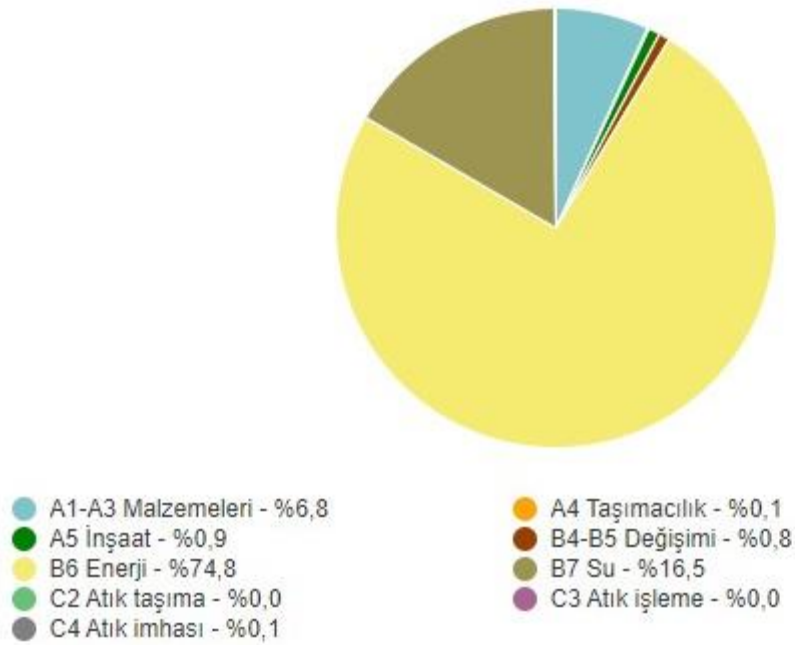


Şekil 48. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin asidifikasyon potansiyeli kapsamında karşılaştırmalı grafiği

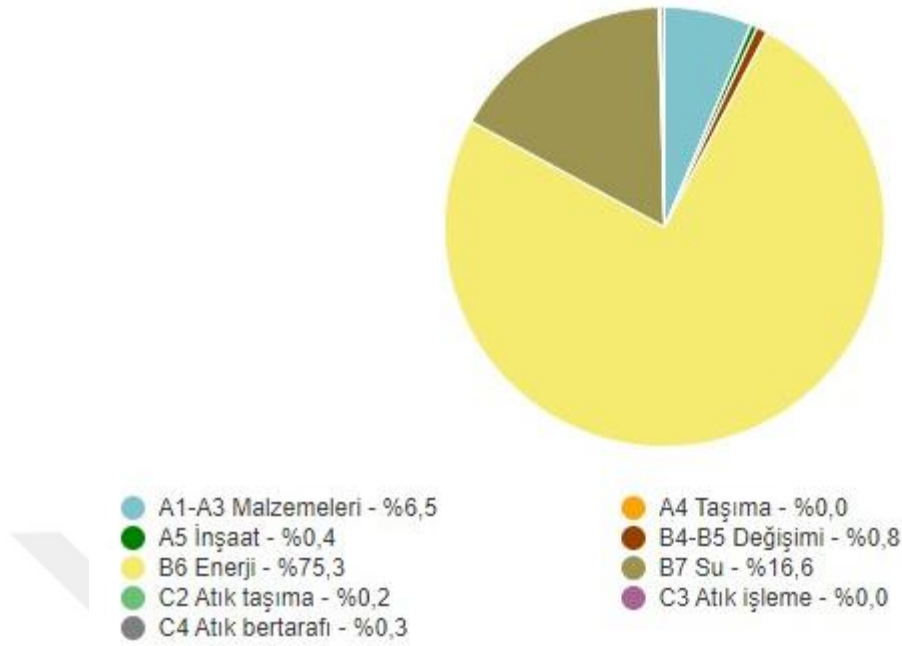
Şekil 50 ‘de ahşap SIP panelin, Şekil 51’de ahşap CLT panelin ve Şekil 52’de beton panel yapı sistemlerinin bütün YDD süreçlerine göre asitleşme potansiyeli (AP) ve bu süreçlerin yüzdelik değerleri paylaşılmıştır. Tüm bu süreçlerde en yüksek yüzdeyi (B6) enerji aşamasının ardından (B7) ku kullanımı aşamasının oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 49. Ahşap SIP panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre asitleşme etkileri



Şekil 50. Ahşap CLT panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre asitleşme etkileri



Şekil 51. Beton panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre asitleşme etkileri

3.3.Ötrofikasyon Potansiyeline (EP) İlişkin Bulgular ve Tartışma

Ötrofikasyon potansiyeli, toprağa veya suya belirli türlerin ekosistemi domine etmesine ve diğer türlerin hayatta kalmasını tehlikeye atan, hatta bazen popülasyonların yok olmasına yol açan mineral besin maddelerinin eklenmesinin etkisini açıklar. Tatlı su ekosistemlerinde azot veya fosfor içeren bileşiklerin emisyonu sonucunda besin elementlerinin artması, ötrofikasyonun gerçekleştiğini gösterir. Bu durum, belirli bir alanın besin açısından zenginleşmesi olarak da tanımlanabilir ve hassas ekosistemlerde istenmeyen bitki büyümesine neden olabilir. Ötrofikasyon potansiyeli birimi, CML tabanlı yöntemle göre çıktıları fosfat (PO_4^{-3}) eşdeğerleriyle ifade eder (One Click LCA, 2021a).

Tablo 8'deki grafikte karşılaştırmalı olarak gösterilen ötrofikasyon potansiyeli (EP) sonuçlarına bakıldığında; YDD süreçlerinde toplam ($\text{A1-A3+A4} + \text{A5} + \text{B4-B5} + \text{B6+B7+C2+C3+C4}$) $302.31 \text{ kg PO}_4^{-3}$ e salınım değeriyle ötrofikasyon potansiyeline en yüksek etkisi SIP yapı modelinin olmuştur. İkinci sırada olan CLT panel yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam $301.3 \text{ kg PO}_4^{-3}$ e yayarken, beton panel yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam $299.3 \text{ kg PO}_4^{-3}$ e salınım değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 8 .EP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg PO₄⁻³e)

<i>YAPI</i>	<i>A1 – A3</i>	<i>A4</i>	<i>A5</i>	<i>B4 – B5</i>	<i>B6</i>
BETON	21,72729626	0,05552777	1,56023472	1,657399713	224,242056
CLT	22,91038234	0,311313354	3,022428278	1,657399713	224,242056
SIP	24,53012548	0,030686688	2,589039643	1,657399713	224,242056

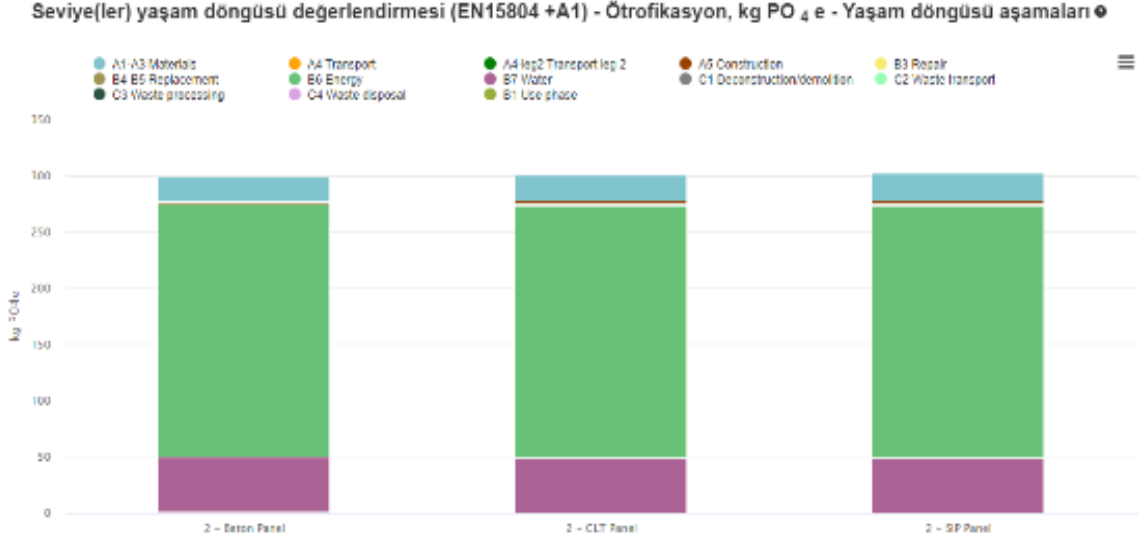
Tablo 9. EP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg PO₄⁻³e) (devamı)

<i>YAPI</i>	<i>B7</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>
BETON	48,86061556	0,507110011	0,001080764	0,690245325
CLT	48,86061556	0,135493414	0,001080764	0,164091991
SIP	48,86061556	0,188900155	0,002112995	0,213762721

Ötrofikasyon potansiyeli sonuçları ele alındığında en çok etki eden sürecin enerji tüketimi (B6) olduğu gözlemlenmektedir. Ardından en çok etki eden sürecin işletme su kullanımı (B7) olduğu belirlenmiştir. Bu süreçte her bir yapı 48.86 kg PO₄⁻³e salınım yapmaktadır. Sabit tutulan verilerden dolayı bu üç yapı modelinde de değerler eşit olmaktadır.

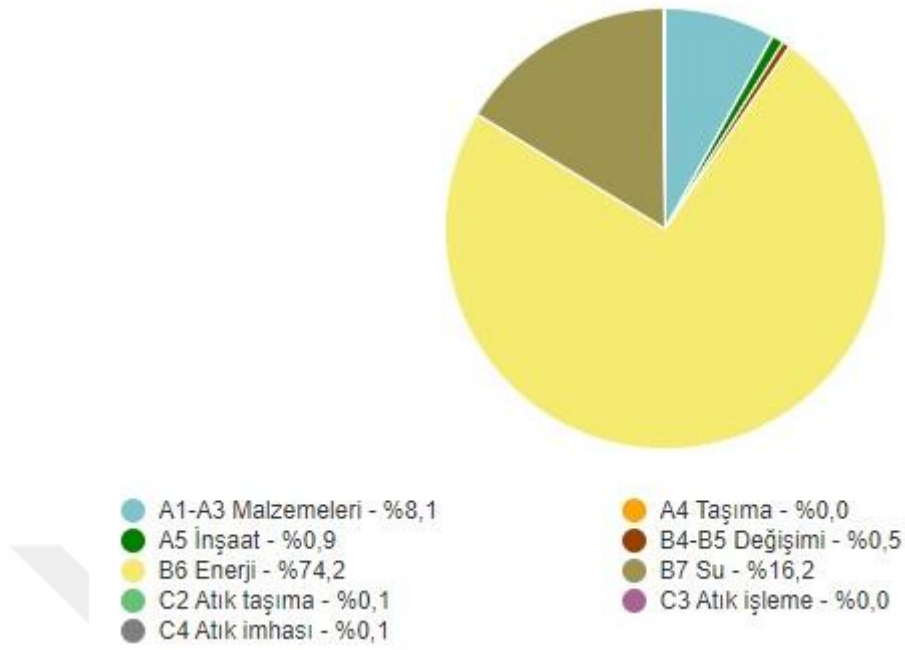
Ötrofikasyon potansiyeline en çok etki eden üçüncü süreç üretim aşamasıdır (A1-A3). Bu süreçte SIP yapı modeli 24.53 kg PO₄⁻³e salınım değeriyle birinci sırada yer almaktadır. İkinci sırada olan CLT panel yapı modeli 22.91 kg PO₄⁻³e yayarken, beton panel yapı modeli 21.73 kg PO₄⁻³e salınım değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır.

Şekil 53’de yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin, ötrofikasyon potansiyeli (EP) kapsamında karşılaştırmalı grafiği sonuçları incelendiğinde, yapılarda en çok etki eden sürecin enerji tüketimi (B6) olduğu görülmektedir.

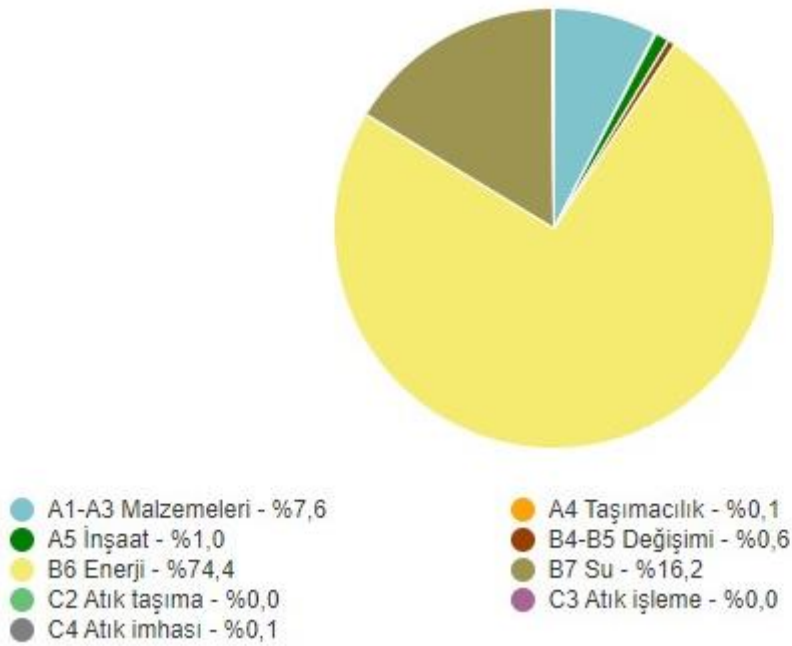


Şekil 52. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin ötrofikasyon potansiyeli kapsamında karşılaştırmalı grafiği

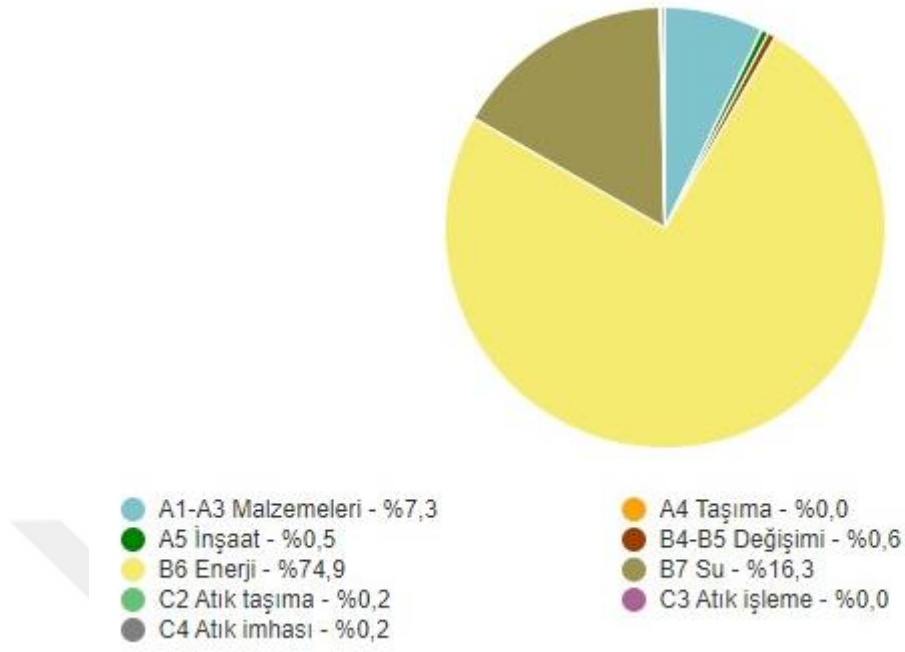
Şekil 54’de ahşap SIP, Şekil 55’de ahşap CLT ve Şekil’de beton panel yapı sistemlerinin bütün YDD süreçlerine göre ötrofikasyon potansiyeli (EP) ve bu süreçlerin yüzdelik değerleri paylaşılmıştır. Tüm bu süreçlerde en yüksek yüzdeyi (B6) enerji aşamasının ardından (B7) su kullanımı aşamasının oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 53. Ahşap SIP yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ötrofikasyon etkileri



Şekil 54. Ahşap CLT yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ötrofikasyon etkileri



Şekil 55. Beton yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ötrofikasyon etkileri

3.4. Ozon Delme Potansiyeline (ODP) İlişkin Bulgular ve Tartışma

Ozon delinmesi (azalması) potansiyeli, atmosferdeki zararlı güneş ışınlarını emen ve dünya yüzeyine ulaşmasını engelleyen stratosferik ozon tabakasının tahrip olmasına neden olan etkiyi açıklar. Bu etki, ozon tabakasının incilmesi ve zarar görmesiyle sonuçlanır. Ozon delinme potansiyeli birimi, CML tabanlı yöntemle göre çıktıları kloroflorokarbon-11 (CFC-11) eşdeğerleriyle ifade eder (One Click LCA, 2021a)."

Tablo 10'daki grafikte karşılaştırmalı olarak gösterilen ozon delme potansiyeli (ODP) sonuçlarına bakıldığında; YDD süreçlerinde toplam (A1-A3+ A4 + A5 + B4-B5 +B6+B7+C2+C3+C4) 62.84 kg CFC-11 eq salınım değeriyle ozon delme potansiyeline en yüksek etkisi SIP yapı modelinin olmuştur. İkinci sırada olan CLT panel yapı modelinin tüm YDD süreçlerinde toplam 62.53 kg CFC-11 eq yayarken, beton panel yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam 58.31 kg CFC-11 eq salınım değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır.

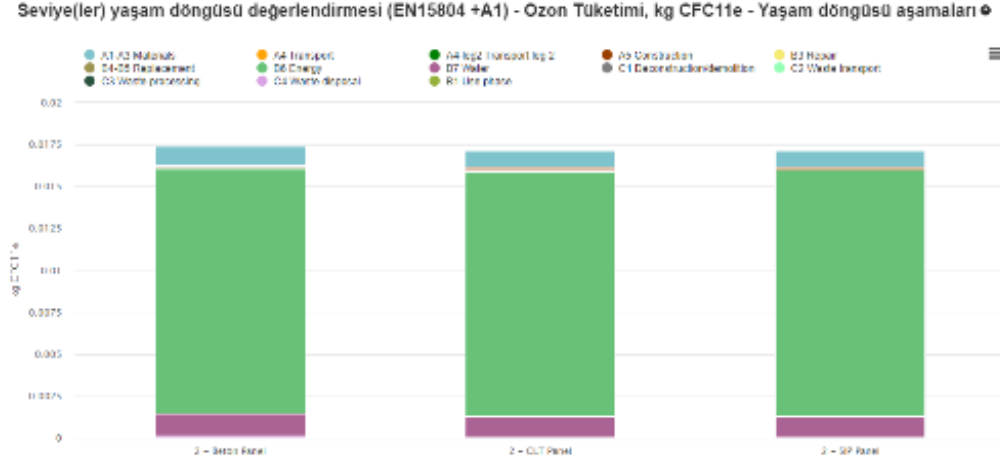
Tablo 10. ODP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg CFC-11 eq)

<i>YAPI</i>	<i>A1 – A3</i>	<i>A4</i>	<i>A5</i>	<i>B4 – B5</i>	<i>B6</i>
BETON	0,001122756	0,000028899	0,000084074	0,000101633	0,014609471
CLT	0,000935299	0,000065506	0,000120746	0,000101633	0,014609471
SIP	0,000974700	0,000011364	0,000104893	0,000101633	0,014609471

Tablo 11. ODP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg CFC-11 eq) (devamı)

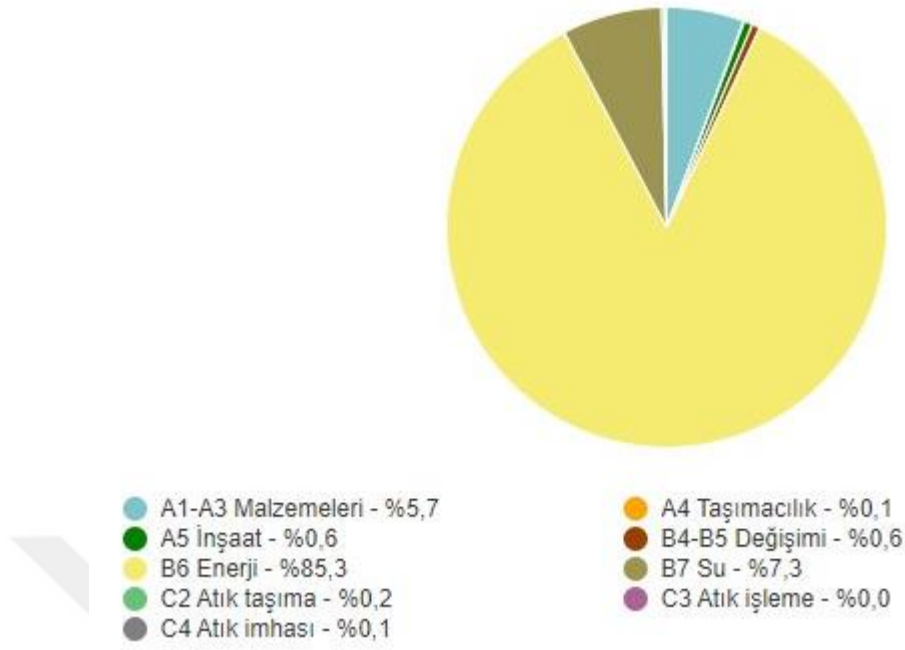
<i>YAPI</i>	<i>B7</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>
BETON	0,001255044	0,000101290	1,461932314	0,000078799
CLT	0,001255044	0,000027020	1,461932314	0,000018733
SIP	0,001255044	0,000037640	2,858697600	0,000024403

Şekil 57’de yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin, ozon delme potansiyeli (ODP) kapsamında karşılaştırmalı grafiği sonuçları incelendiğinde, yapılarda en çok etki eden sürecin enerji tüketimi (B6) olduğu görülmektedir.

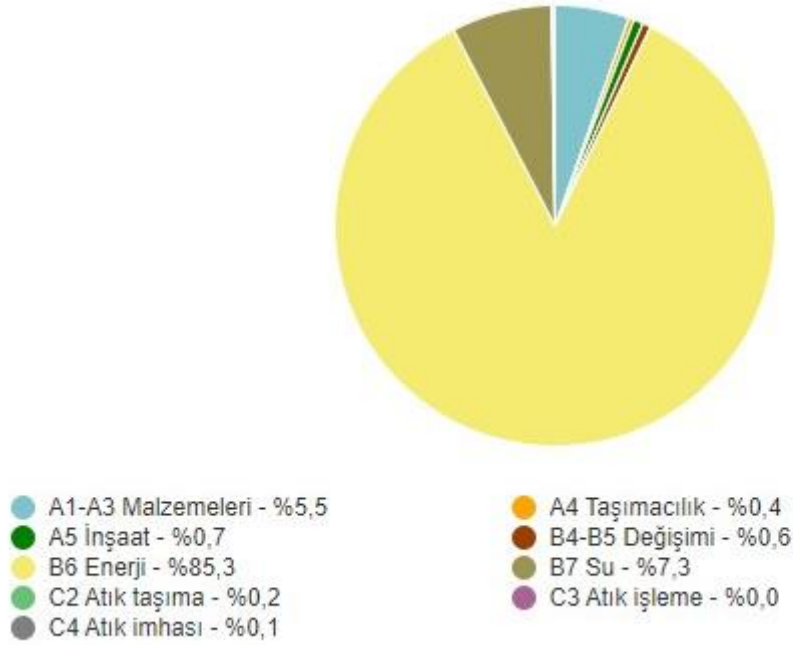


Şekil 56. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin ozon delme potansiyeli kapsamında karşılaştırmalı grafiği

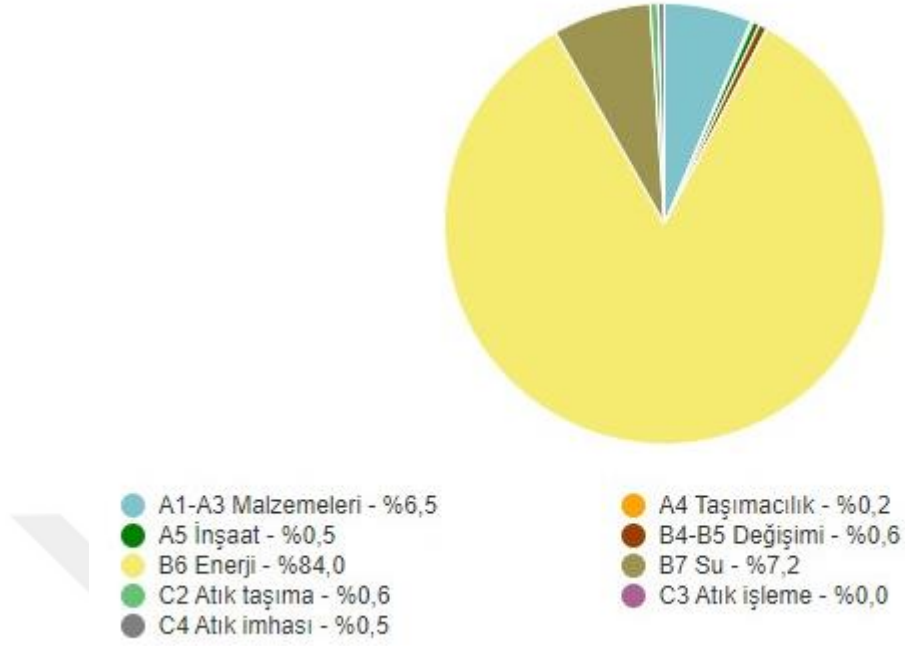
Şekil 58’de ahşap SIP, Şekil 59’de ahşap CLT panelin ve Şekil 60’de beton panel yapı sistemlerinin bütün YDD süreçlerine göre ötrofikasyon potansiyeli (EP) ve bu süreçlerin yüzdelik değerleri paylaşılmıştır. Tüm bu süreçlerde en yüksek yüzdeyi (B6) enerji aşamasının ardından (B7) su Kullanımı aşamasının oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 57. Ahşap SIP panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ozon tüketimi



Şekil 58. Ahşap CLT panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ozon tüketimi etkileri



Şekil 59. Beton panel yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre ozon tüketimi etkileri

3.5. Alt Atmosferde Ozon Oluşumuna (POCP) İlişkin Bulgular ve Tartışma

Atmosferde alt seviyede (fotokimyasal) ozon oluşumu, atmosferdeki maddelerin fotokimyasal sis oluşturma etkisini açıklar; bu durum ayrıca yaz dumanı olarak da bilinir. Fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli olarak adlandırılan bu etki, CML tabanlı yöntemle göre çıktıları etilen (C_2H_4) eşdeğerleriyle ifade eder (One Click LCA, 2021a).

Tablo 12'deki grafikte karşılaştırmalı olarak gösterilen alt atmosferde ozon oluşumu (POCP) sonuçlarına bakıldığında; alt atmosferde ozon oluşturma sonuçları ele alındığında en çok etki eden sürecin enerji tüketimi (B6) olduğu, ardından en çok etki eden sürecin işletme su kullanımı (B7) olduğu gözlemlenmektedir. Bu süreçte her bir yapı 7.60 kg etilen oluşturmaktadır. Sabit tutulan verilerden dolayı bu üç yapı modelinde de değerler eşit olmaktadır.

Tablo 12. POCP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg etilen)

<i>YAPI</i>	<i>A1 – A3</i>	<i>A4</i>	<i>A5</i>	<i>B4 – B5</i>	<i>B6</i>
BETON	4,723798914	0,024941297	0,295951924	1,146748043	44,3953296
CLT	8,277170166	0,022614080	1,057019163	1,146748043	44,3953296
SIP	8,533083815	0,00818906	1,108368716	1,146748043	44,3953296

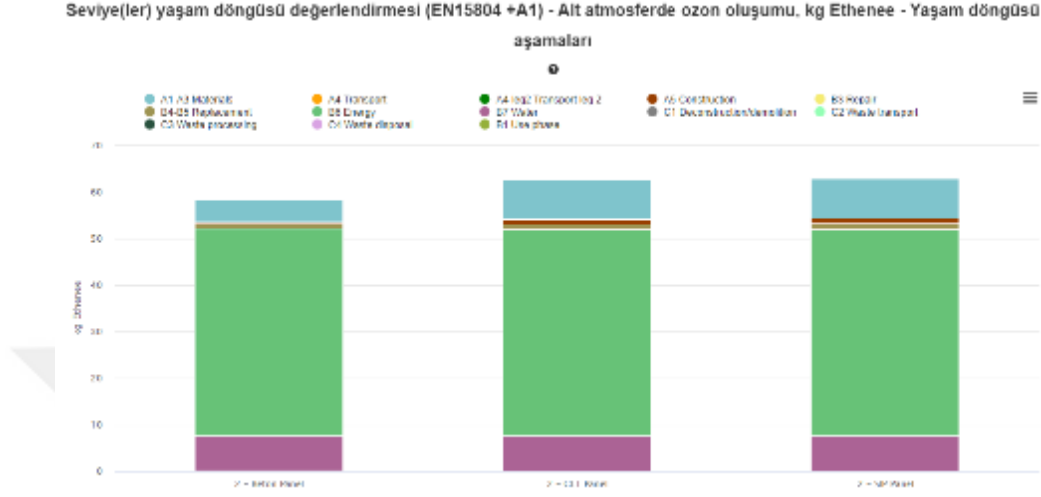
Tablo 13. POCP değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (kg Etilen) (devamı)

<i>YAPI</i>	<i>B7</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>
BETON	7,604348302	0,032883562	0,00036951	0,087841332
CLT	7,604348302	0,008656962	0,000369519	0,020882516
SIP	7,604348302	0,011973929	0,000722577	0,027203664

Tüm YDD süreçlerinde toplam 62.84 kg Etilen oluşturma değeriyle alt atmosferde ozon oluşumuna en yüksek etki SIP yapı modeline aittir. İkinci sırada olan CLT panel yapı modelinin tüm YDD süreçlerinde toplam 62.53 kg etilen oluştururken, beton panel yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam 58.31kg etilen oluşturma değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır.

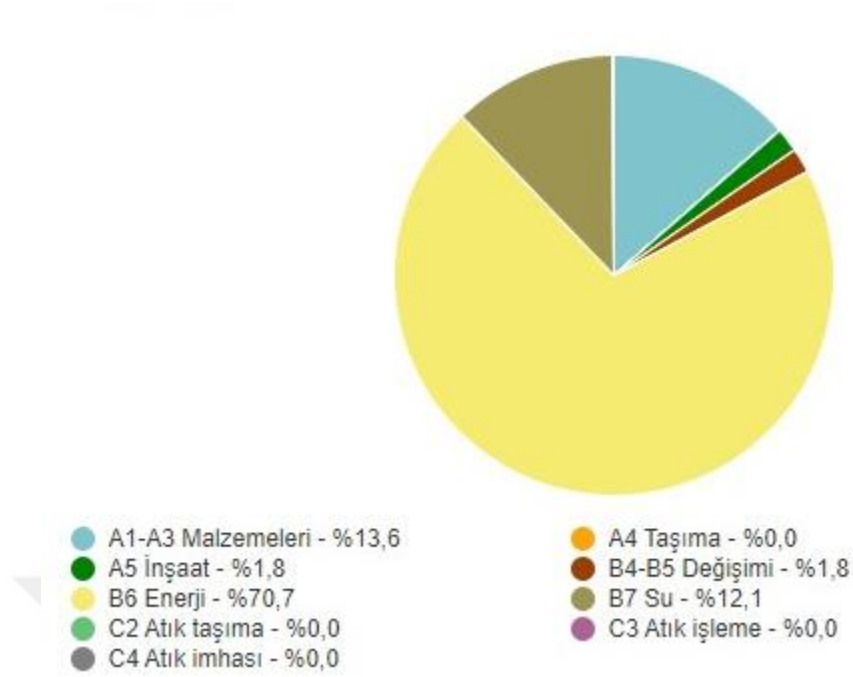
Ötrotikasyon potansiyeline en çok etki eden üçüncü süreç, üretim aşamasıdır (A1-A3). Bu süreçte SIP panel yapı modeli 8.53 kg etilen oluşturma değeriyle birinci sırada yer almaktadır. İkinci sırada olan CLT panel yapı modeli 8.28 kg etilen, beton panel yapı modeli 4.72 kg etilen oluşturma değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır.

Şekil 61’de yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin, alt atmosferde ozon oluşumu (POCP) kapsamında karşılaştırmalı grafiği sonuçları incelendiğinde, yapılarda en çok etki eden sürecin enerji tüketimi (B6) olduğu görülmektedir.

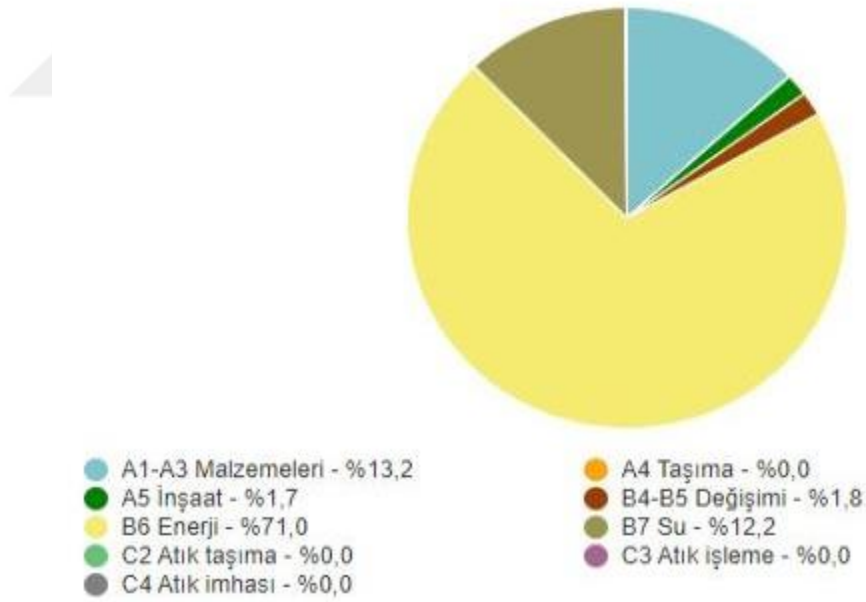


Şekil 60. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin ozon delme potansiyeli kapsamında karşılaştırmalı grafiği

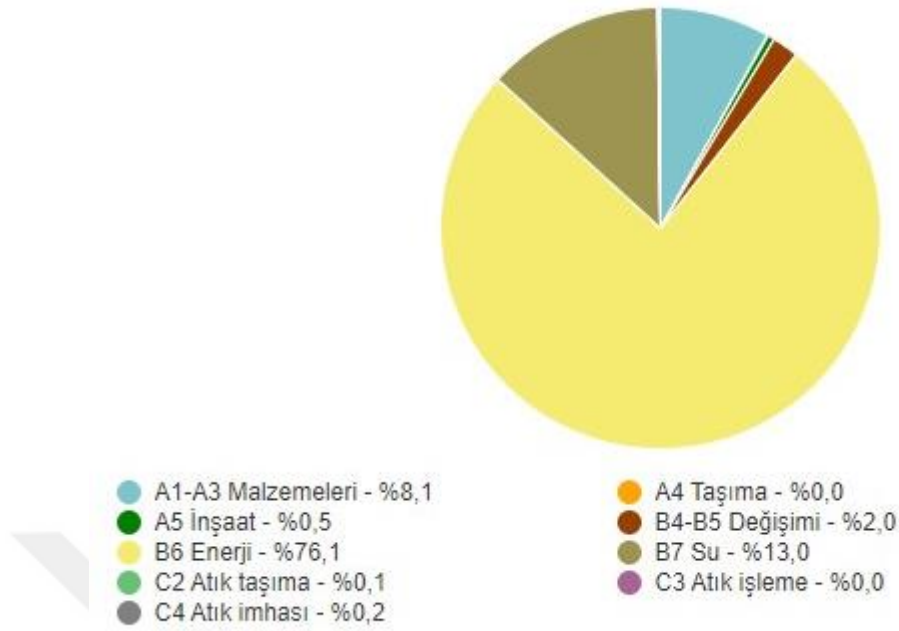
Şekil 62. ‘de ahşap SIP’in, Şekil 63’de ahşap CLT panelin ve Şekil 64’de beton panel yapı sistemlerinin bütün YDD süreçlerine göre alt atmosferde ozon oluşumu (POCP) ve bu süreçlerin yüzdelik değerleri paylaşılmıştır. Tüm bu süreçlerde en yüksek yüzdeyi B6 Enerji aşamasının ardından B7 Su Kullanımı aşamasının oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 61. Ahşap SIP panel yapı modeli bütün YDD süreçlerine göre alt atmosferde ozon oluşumu



Şekil 62. Ahşap CLT panel yapı modeli bütün YDD süreçlerine göre alt atmosferde ozon oluşumu etkileri



Şekil 63. Beton Panel yapı modeli bütün YDD süreçlerine göre alt atmosferde ozon oluşumu etkileri

3.6. Net Tatlı Su kullanımına (FW) İlişkin Bulgular ve Tartışma

Su ayak izi olarak da adlandırılan, net tatlı su kullanımı, bir ürünü üretmek için gereken tatlı su miktarını hesaplamaktır. Hesaplama yöntemi, hammadde madenciliği ve elektrik üretimi gibi arka plan süreçlerinde kullanılan suyu da kapsamaktadır. Ayrıca ürün kullanımı, imhası ve geri dönüşümü sırasında kullanılan su da dikkate alınmaktadır. Net tatlı su kullanımı olarak adlandırılan bu etki, CML tabanlı yöntemle göre çıktıları m^3 eşdeğerleriyle ifade eder (Berger vd., 2010)."

Tablo 14'deki grafikte karşılaştırmalı olarak gösterilen net tatlı su kullanımı (FW) sonuçlarına bakıldığında; SIP yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam (A1-A3+A4+A5+B4-B5+B6+B7+C2+C3+C4) $4158.04 m^3$ değeriyle net tatlı su kullanımına en yüksek etki olmuştur. İkinci sırada olan beton panel yapı modelinin tüm YDD süreçlerinde toplam $2379.25 m^3$ net tatlı su kullanılırken, CLT panel yapı modeli tüm YDD süreçlerinde toplam $2221.92 m^3$ net tatlı su kullanımı değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 14. FW değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (m³)

<i>YAPI</i>	<i>A1 – A3</i>	<i>A4</i>	<i>A5</i>	<i>B4 – B5</i>	<i>B6</i>
BETON	1680,844013	0,113894236	150,5357868	1,875449242	366,3493679
CLT	1513,953893	0,026712115	160,8838033	1,875449242	366,3493679
SIP	3205,545765	0,033741619	405,3311674	1,875449242	366,3493679

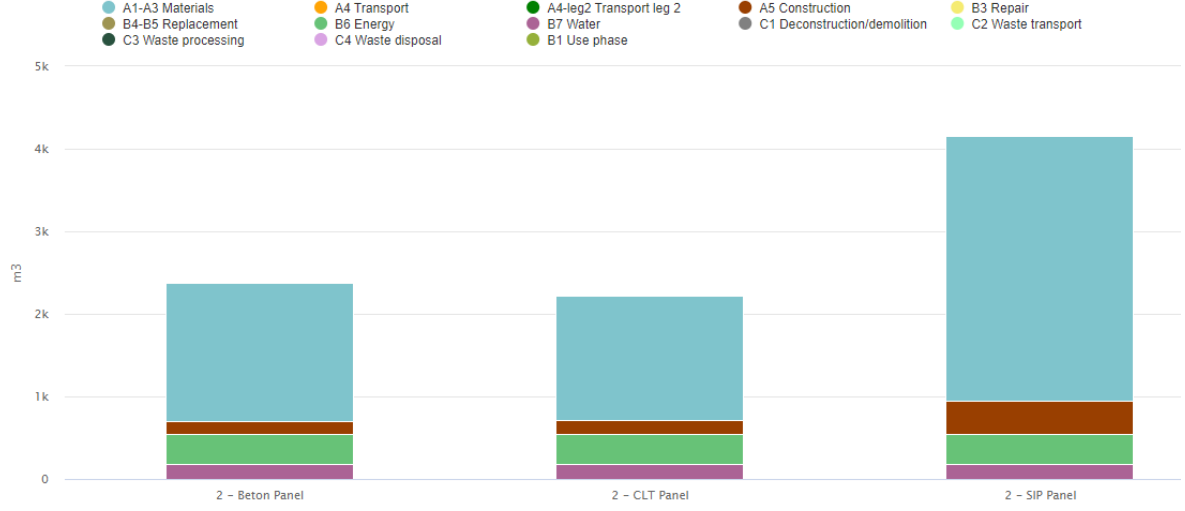
Tablo 15 FW değerlerinin süreçlere göre etki değerleri (m³) (devamı)

<i>YAPI</i>	<i>B7</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>
BETON	178,6142672	0,00308416	0,914504288
CLT	178,6142672	0,00308416	0,217405064
SIP	178,6142672	0,006030935	0,28321369

Net tatlı su kullanımı sonuçları ele alındığında en çok etki eden sürecin üretim aşaması (A1-A3) olduğu gözlemlenmektedir. Ardından en çok etki eden süreç enerji kullanımı (B6) olduğu gözlemlenmektedir. Bu süreçte her bir yapı 366.35 m³ net tatlı su kullanmaktadır. Sabit tutulan verilerden dolayı bu üç yapı modelinde de değerler eşit olmaktadır.

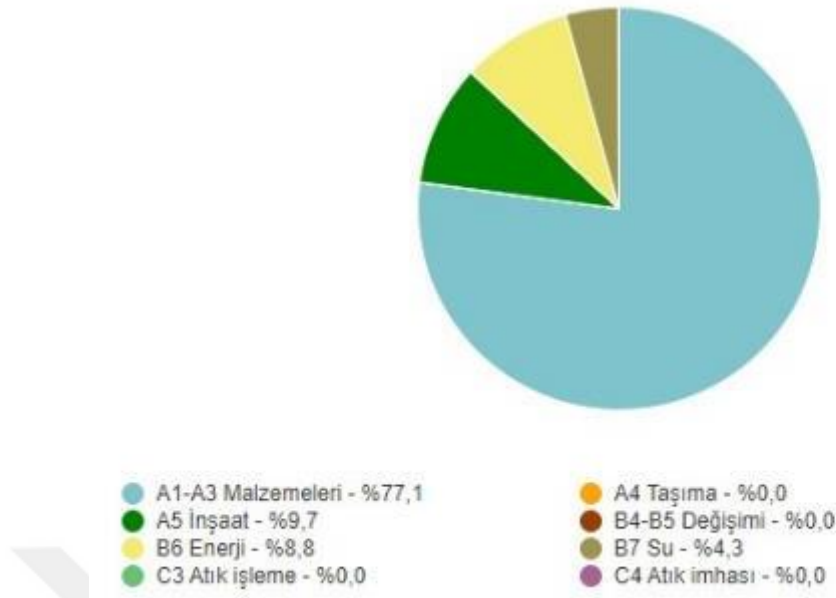
Net tatlı su kullanımına en çok etki eden üçüncü süreç yapım ve kurulum (A5) sürecidir. Bu süreçte SIP panel yapı modeli 405.33 m³ net tatlı su kullanım değeriyle birinci sırada yer almaktadır. İkinci sırada olan CLT panel yapı modeli 160.88 m³ net tatlı su, beton panel yapı modeli 150.54 m³ net tatlı su kullanımı değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır.

Şekil 65’de yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin, modellerinin net tatlı su kullanımı (FW) kapsamında karşılaştırmalı grafiği sonuçları incelendiğinde, yapılarda en çok etki eden sürecin A1-A3 Üretim aşaması olduğu görülmektedir.

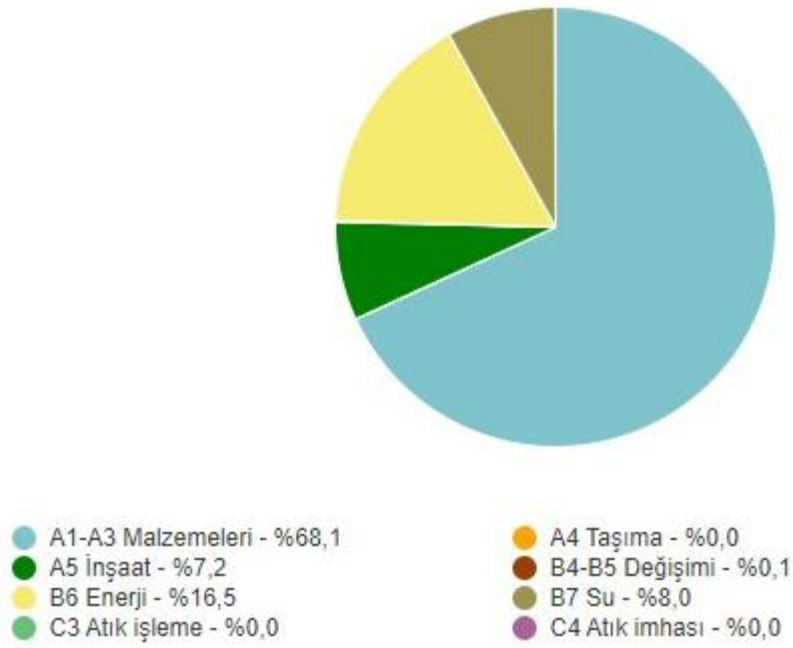


Şekil 64. Yeniden kurgulanan tüm yapı modellerinin net tatlı su kullanımı kapsamında karşılaştırmalı grafiği

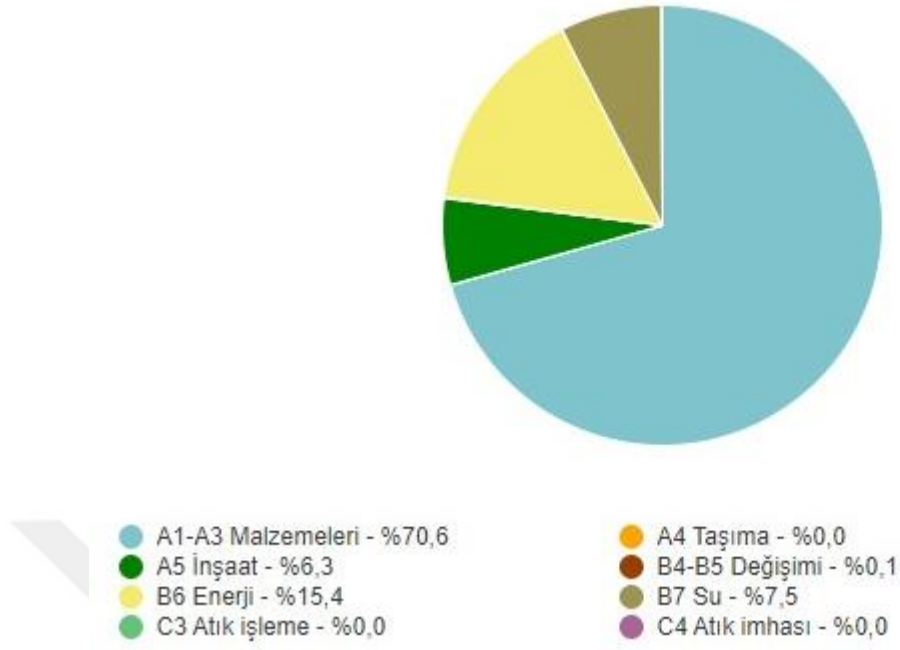
Şekil 66 ‘de ahşap SIP panelin , Şekil 67’de ahşap CLT panelin ve Şekil 68’de beton panel yapı sistemlerinin bütün YDD süreçlerine göre net tatlı su kullanımı (FW) ve bu süreçlerin yüzdelik değerleri paylaşılmıştır. Tüm bu süreçlerde en yüksek yüzdeyi A1-A3 üretim aşamasının ardından A5 inşaat aşamasının oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 65. Ahşap SIP yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre net tatlı su kullanımı



Şekil 66. Ahşap CLT yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre net tatlı su kullanımı



Şekil 67. Beton yapı modelinin bütün YDD süreçlerine göre net tatlı su kullanımı

Elde edilen bulgular sonucunda her bir etki kategorisine ait en yüksek etki eden sistemler sıralaması ve en çok etki eden süreçler sıralaması aşağıdaki gibidir.

- Küresel ısınma potansiyeline en yüksek etki eden sistemler sıralaması;
 - Beton panel sistem (306795.07 kg CO₂ eq)
 - CLT panel sistem (304135.38 kg CO₂ eq)
 - SIP sistem (303116.9 kg CO₂ eq)
- Küresel ısınma potansiyeli sonuçları ele alındığında en çok etki eden süreçler sıralaması;
 - Enerji tüketimi (B6)
 - İşletme su kullanımı (B7)
 - Üretim aşamasıdır (A1- A3).
- Asitleşme potansiyeline en yüksek etki eden sistemler sıralaması;
 - SIP sistem (1303.57 kg SO₂e)
 - CLT panel sistem (1290.32 kg SO₂e)
 - Beton panel sistem (1282.54 kg SO₂e)
- Asitleşme potansiyeli sonuçları ele alındığında en çok etki eden süreçler sıralaması;
 - Enerji tüketimi (B6)
 - İşletme su kullanımı (B7)
 - Üretim aşamasıdır (A1- A3).
- Ötrofikasyon potansiyeline en yüksek etki eden sistemler sıralaması;
 - SIP sistem (302.31 kg PO₄⁻³e)
 - CLT panel sistem (301.3 kg PO₄⁻³e)
 - Beton panel sistem (299.3 kg PO₄⁻³e)
- Ötrofikasyon potansiyeli sonuçları ele alındığında en çok etki eden süreçler sıralaması;
 - Enerji tüketimi (B6)
 - İşletme su kullanımı (B7)
 - Üretim aşamasıdır (A1- A3).
- Ozon delme potansiyeline en yüksek etki eden sistemler sıralaması;
 - SIP sistem (62.84 kg CFC-11 eq)
 - CLT panel sistem (62.53 kg CFC-11 eq)
 - Beton panel sistem (58.31 kg CFC-11 eq)

- Ozon delme potansiyeli sonuçları ele alındığında en çok etki eden süreçler sıralaması;
 - Enerji tüketimi (B6)
 - İşletme su kullanımı (B7)
 - Üretim aşamasıdır (A1- A3).
- Alt atmosferde ozon oluşumuna ilişkin en yüksek etki eden sistemler sıralaması;
 - SIP sistem (62.84 kg Etilen)
 - CLT panel sistem (62.53 kg Etilen)
 - Beton panel sistem (58.31kg etilen)
- Alt atmosferde ozon oluşumuna ilişkin sonuçlar ele alındığında en çok etki eden süreçler sıralaması;
 - Enerji tüketimi (B6)
 - İşletme su kullanımı (B7)
 - Üretim aşamasıdır (A1- A3).
- Alt atmosferde ozon oluşumuna ilişkin en yüksek etki eden sistemler sıralaması;
 - SIP sistem (4158.04 m3)
 - Beton panel sistem (2379.25 m3)
 - CLT panel sistem (2221.92 m3)
- Alt atmosferde ozon oluşumuna ilişkin sonuçlar ele alındığında en çok etki eden süreçler sıralaması;
 - Üretim aşamasıdır (A1- A3)
 - Enerji tüketimi (B6)
 - İşletme su kullanımı (B7)

4. SONUÇLAR

Dünya'yı tehdit eden en büyük senaryolar arasında yer alan 'iklim değişikliği ve çevreye verilen zarar' tüm toplumların gelecek konusunda en büyük kaygısı ve problemi haline gelmektedir. Ulusal Enerji Ajansı'nın yayınladığı rapora göre inşaat sektörü, karbon emisyonunun %40'ını oluşturmaktadır. Bu süreçte inşaat sektöründe çalışan tüm meslek gruplarının bu konuya ilgi ve alakasını arttırması gerekmektedir. Ülkemiz ise dünyada en fazla salınım yapan 16'ncı ülke konumundadır (UNEP Emission Cap Report 2019). Bu durumda ülkemizde bu konu hakkında yapılan çalışmaların arttırılması, farkındalığın da arttırılmasını sağlayacaktır.

Karbon emisyonunu azaltmak amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. İnşaat sektöründeki karbon emisyonunu azaltmak için en etkili yöntem olarak 'Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi tercih edilmektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi, ürünlerin veya süreçlerin beşikten mezara kadar olan tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir.

Bu tez çalışmasında, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) kapsamında yapılan literatür çalışmasının ardından, Vural (2005)'in doktora tezinden seçilen bir konut modeli, farklı yapı malzemeleri ile yeniden kurgulanmış ve çevresel etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Karşılaştırmada konut modellerinin yapım sistemi olarak ahşap esaslı CLT panel, SIP ve beton panel sistemleri seçilmiştir. One Click LCA yazılımı kullanılarak çevresel etki değerleri tespit edilmiştir. Ardından bu çevresel etki değerleri grafiksel anlatımlarla karşılaştırılmış ve tüm Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) süreçlerinde hangi aşamaların daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen çevresel etki değerlerine göre;

- Tüm yapı sistemlerinin YDD'de en fazla çevresel etkiye neden olan sürecin enerji tüketimi (B6) olduğu, tespit edilmiştir.
- En az çevresel etkiye sahip olan sürecin ise nakliye (A4) olduğu, belirlenmiştir.
- Küresel ısınma potansiyeline (GWP) toplamda en çok etki eden YDD sürecinin işletme su kullanımı (B7) olduğu tespit edilmiştir. Bu süreçlerde CLT panel, SIP ve beton panel sistemlerin her biri 30.971,4764 kg CO₂ eq değerinde etki oluşturmuştur.

- Asidifikasyon potansiyeline (AP) toplamda en çok etki eden YDD sürecinin enerji tüketimi (B6) olduğu, tespit edilmiştir. Bu süreçlerde CLT panel , SIP panel ve beton panel sistemlerin her biri 965,13036 kg SO₂ eq değerinde etki oluşturmuştur.
- Ötrofikasyon potansiyeline (EP) toplamda en çok etki eden YDD sürecinin enerji tüketimi (B6) olduğu tespit edilmiştir. Bu süreçlerde CLT panel , SIP panel ve beton panel sistemlerin her biri 224,242056 kg PO₂ eq değerinde etki oluşturmuştur.
- Alt atmosferde ozon oluşumuna (POCP) toplamda en çok etki eden YDD sürecinin enerji tüketimi (B6) olduğu tespit edilmiştir. Bu süreçlerde CLT panel , SIP panel ve beton panel sistemlerin her biri 44,3953296 kg etilen değerinde etki oluşturmuştur.
- Net tatlı su kullanımına (FW) toplamda en çok etki eden YDD sürecinin üretim aşaması (A1-A3) olduğu tespit edilmiştir. Bu süreçlerde CLT panel 1513,953893 m³, SIP panel 3205,545765 m³ ve beton panel 1680,844013 m³ değerinde etki oluşturmuştur.

Tüm süreçler beraber ele alındığında 6 farklı etki kategorisinde yapılan karşılaştırmalı analizlerin sonuçlarına göre;

- Küresel ısınma potansiyeline (GWP) en az etki eden yapı sisteminin SIP yapı sistemi olduğu,
- Asidifikasyon potansiyeline (AP) en az etki eden yapı sisteminin beton panel yapı sistemi olduğu,
- Ötrofikasyon potansiyeline (EP) en az etki eden yapı sisteminin beton panel yapı sistemi olduğu,
- Ozon delme potansiyeline (ODP) en az etki eden yapı sisteminin CLT panel yapı sistemi olduğu,
- Alt atmosferde ozon oluşumuna (POCP) en az etki eden yapı sisteminin beton panel yapı sistemi olduğu,
- Net tatlı su kullanımına (FW) en az etki eden yapı sisteminin CLT panel yapı sistemi olduğu tespit edilmişti

YDD süreci tez kapsamında incelendiğinde, Türkiye'ye özgü çevresel verilerin envanter analizi için yetersiz olduğu göze çarpmaktadır. Bu çalışmada, One Click LCA aracının çevresel verilerini, Türkiye'ye özgü olarak entegre etmesi sağlanmıştır. Bu nedenle, varsayımsal yaklaşımların değişken sonuçlara yol açabileceği hususu göz önünde bulundurulmalıdır. İnşaat sektöründe yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kullanılarak, birçok yapının çevresel etkileri tasarım aşamasında belirlenebilir. Bu sayede, planlanan ve öngörülen verilere dayanarak yapım sürecine karar vermek mümkün olabilir.

Ahşap SIP panel yapı sisteminin kapsam dahilinde olan 6 çevresel etki değerinin, tüm YDD süreçlerine göre etki değerleri Tablo 16 ve Tablo 17'deki gibidir.

Tablo 16. Ahşap SIP panel yapı modeli YDD etki sonuçları

Yaşam döngüsü modülleri		GWP	AP	EP
A1 – A3	Yapı malzemeleri üretimi	1,76E+04	1,03E+02	2,45E+01
A4	Şantiyeye Ulaşım / Taşıma	6,47E+01	1,45E-01	3,07E-02
A5	İnşaat / Kurulum süreci	1,55E+03	1,03E+01	2,59E+00
B4-B5	Bakım ve malzeme değişimi	1,28E+03	1,01E+01	1,66E+00
B6	Enerji kullanımı	2,51E+05	9,65E+02	2,24E+02
B7	Su kullanımı	3,10E+04	2,13E+02	4,89E+01
C1-C4	Kullanım ömrünün sonu	3,29E+02	1,88E+00	4,05E-01
D	Dış etkiler (toplam hesaplamaaya dahil değildir)	-3,67E+03	-1,47E+01	-1,11E+00
	Toplam	3,03E+05	1,30E+03	3,02E+02
A1 – A3	Yapı malzemeleri üretimi	1,76E+04	1,03E+02	2,45E+01
A4	Şantiyeye Ulaşım / Taşıma	6,47E+01	1,45E-01	3,07E-02

Tablo 17. Ahşap SIP panel yapı modeli YDD etki sonuçları (devamı)

Yaşam döngüsü modülleri		ODP	POCP	Net tatlı su kullanımı
A1 – A3	Yapı malzemeleri üretimi	9,75E-04	8,53E+00	3,21E+03
A4	Şantiyeye Ulaşım / Taşıma	1,14E-05	8,19E-03	3,37E-02
A5	İnşaat / Kurulum süreci	1,05E-04	1,11E+00	4,05E+02
B4-B5	Bakım ve malzeme değişimi	1,02E-04	1,15E+00	1,88E+00
B6	Enerji kullanımı	1,46E-02	4,44E+01	3,66E+02
B7	Su kullanımı	1,26E-03	7,60E+00	1,79E+02
C1-C4	Kullanım ömrünün sonu	6,23E-05	3,99E-02	2,89E-01
D	Dış etkiler (toplam hesaplamaaya dahil değildir)	-2,30E-04	-1,55E+00	-9,09E+01
	Toplam	1,71E-02	6,28E+01	4,16E+03

Ahşap CLT panel yapı sisteminin kapsam dahilinde olan 6 çevresel etki değerinin, tüm YDD süreçlerine göre etki değerleri Tablo 18 ve Tablo 19'daki gibidir.

Tablo 18. Ahşap CLT panel yapı modeli YDD etki sonuçları

Yaşam döngüsü modülleri		GWP	AP	EP
A1 – A3	Yapı malzemeleri üretimi	1,80E+04	8,82E+01	2,29E+01
A4	Şantiyeye Ulaşım / Taşıma	3,37E+02	1,43E+00	3,11E-01
A5	İnşaat / Kurulum süreci	2,04E+03	1,10E+01	3,02E+00
A1 – A3	Yapı malzemeleri üretimi	1,80E+04	8,82E+01	2,29E+01
A4	Şantiyeye Ulaşım / Taşıma	3,37E+02	1,43E+00	3,11E-01
A5	İnşaat / Kurulum süreci	2,04E+03	1,10E+01	3,02E+00
B4-B5	Bakım ve malzeme değişimi	1,28E+03	1,01E+01	1,66E+00
B6	Enerji kullanımı	2,51E+05	9,65E+02	2,24E+02
B7	Su kullanımı	3,10E+04	2,13E+02	4,89E+01
C1-C4	Kullanım ömrünün sonu	2,42E+02	1,40E+00	3,01E-01
D	Dış etkiler (toplam hesaplama dahil değildir)	- 3,43E+03	- 1,45E+01	- 1,09E+00
	Toplam	3,04E+05	1,29E+03	3,01E+02

Tablo 19. Ahşap CLT panel yapı modeli YDD etki sonuçları(devamı)

Yaşam döngüsü modülleri		ODP	POCP	Net tatlı su kullanımı
A1 – A4	Yapı malzemeleri üretimi	2,02E+03	2,77E+03	3,53E+03
A4	Şantiyeye Ulaşım / Taşıma	4,31E-02	5,64E-02	6,97E-02
A5	İnşaat / Kurulum süreci	2,15E+02	2,96E+02	3,76E+02
B4-B6	Bakım ve malzeme değişimi	2,89E+00	3,83E+00	4,77E+00
B6	Enerji kullanımı	5,03E+02	6,86E+02	8,69E+02
B7	Su kullanımı	2,41E+02	3,31E+02	4,20E+02
C1-C5	Kullanım ömrünün sonu	3,03E-01	4,13E-01	5,23E-01
D	Dış etkiler (toplam hesaplamaya dahil değildir)	-1,24E+02	-1,71E+02	-2,17E+02
	Toplam	1,04E+02	1,35E+02	1,67E+02
A1 – A4	Yapı malzemeleri üretimi	2,02E+03	2,77E+03	3,53E+03
A4	Şantiyeye Ulaşım / Taşıma	4,31E-02	5,64E-02	6,97E-02

Beton panel yapı sisteminin kapsam dahilinde olan 6 çevresel etki değerinin, tüm YDD süreçlerine göre etki değerleri Tablo 20 ve Tablo 21'deki gibidir.

Tablo 20. Beton panel yapı modeli YDD etki sonuçları

Yaşam döngüsü modülleri		GWP	AP	EP
A1 – A3	Yapı malzemeleri üretimi	2,09E+04	8,27E+01	2,17E+01
A4	Şantiyeye Ulaşım / Taşıma	1,70E+02	2,70E-01	5,55E-02
A5	İnşaat / Kurulum süreci	1,22E+03	5,74E+00	1,56E+00
B4-B5	Bakım ve malzeme değişimi	1,28E+03	1,01E+01	1,66E+00
B6	Enerji kullanımı	2,51E+05	9,65E+02	2,24E+02
B7	Su kullanımı	3,10E+04	2,13E+02	4,89E+01
C1-C4	Kullanım ömrünün sonu	9,53E+02	5,56E+00	1,20E+00
D	Dış etkiler (toplam hesaplamaya dahil değildir)	-5,40E+03	-1,14E+01	-4,66E-01
	Toplam	3,07E+05	1,28E+03	2,99E+02

Tablo 21. Beton panel yapı modeli YDD etki sonuçları (devamı)

Yaşam döngüsü modülleri		ODP	POCP	Net tatlı su kullanımı
A1 – A3	Yapı malzemeleri üretimi	9,35E-04	4,72E+00	1,68E+03
A4	Şantiyeye Ulaşım / Taşıma	6,55E-05	2,49E-02	1,14E-01
A5	İnşaat / Kurulum süreci	1,21E-04	2,96E-01	1,51E+02
B4-B5	Bakım ve malzeme değişimi	1,02E-04	1,15E+00	1,88E+00
B6	Enerji kullanımı	1,46E-02	4,44E+01	3,66E+02
B7	Su kullanımı	1,26E-03	7,60E+00	1,79E+02
C1-C4	Kullanım ömrünün sonu	4,59E-05	1,21E-01	9,18E-01
D	Dış etkiler (toplam hesaplamaya dahil değildir)	-2,29E-04	-1,36E+00	-4,77E+01
	Toplam	1,71E-02	5,83E+01	2,38E+03

5. ÖNERİLER

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, Revit ve One Click LCA yazılımları kullanılarak yeniden kurgulanan yöresel Doğu Karadeniz Bölgesi konutunun farklı yapı malzemeleriyle inşa edilmesi üzerine çevresel etkilerinin karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Bu tez konusu ile çalışma yapmak isteyen araştırmacılara ve uygulayıcılara iletilmek istenen öneriler aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

- One Click LCA yazılımı, Revit programına plug-in olarak eklenebildiği için yapıların tüm malzeme ve metraj verileri kolay bir şekilde yazılıma aktarılabilir. Bu sebepten dolayı yapıların Revit üzerinden modellenmesi iş yükünü belirli miktarda azaltmaktadır.
- One Click LCA yazılımını kullanabilmek için birçok eğitici seri bulunmaktadır. En işlevsel ve doğru eğitim LCA Academy sayfasındaki çevrimiçi eğitimlerde bulunmaktadır. Bu eğitimlerde sayfaya üyelik yapılarak erişilebilir. Üyelik tamamlandığı takdirde, yazılım hakkında yapılan güncellemeler ve detaylar mail adresine iletilmektedir. Çevrimiçi eğitimlerde bulunan sınavlar başarı ile tamamlandığı takdirde One Click LCA tarafından sertifika verilmektedir.
- Çalışması yapılacak yapının şantiyedeki operasyonları da yazılıma işlenirse çok daha detaylı ve ayrıntılı çevresel etki analizleri elde edilebilmektedir.
- Çalışması yapılacak olan yapı malzemelerinin isimlerinin, detaylı ve İngilizce olarak Revit'e yazılması, malzemelerin doğru olarak atanmasını sağlamaktadır. Yapay zeka sayesinde yazılan isimlere ve materyallere en yakın EPD'leri seçenek olarak sunmaktadır. Bu sayede EPD'leri seçerken kolaylık sağlanmaktadır.
- Daha sonra yapılacak çalışmalar için, yapıların kat yüksekliklerinin, pencere ölçülerinin, duvar kalınlıklarının vb. değerlerin değişmesinden kaynaklı çevresel etki analizlerinin ölçülmesi için tek bir model konut belirlenip, bu model konutu aynı yapı sistemleriyle kurgulanarak yapılan değişikliklerin hangi süreçlere etki ettiği ve çevresel etki verilerinde ne gibi değişikliklerin görüleceği, önerilebilir.

- Değerlendirme süreci incelendiğinde, Türkiye merkezli çevresel verilerin envanter analizi için yetersiz olduğu dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, kullanılan aracın (One Click LCA) yeniden kurgulanan model konutun bazı yapı malzemelerinin çevresel verilerini Türkiye konumuna entegre etmesi sağlanmıştır. Bu nedenle, varsayıma dayalı yaklaşımların farklı sonuçlar ortaya çıkarabileceği göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'ye özgü geniş bir ürün yelpazesi ile çevresel verilerin erişilebilir olmasının önemi vurgulanmaktadır.



6. KAYNAKLAR

- Abd Rashid, A., & Yusoff, S. (2015). A review of life cycle assessment method for building industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 244-248
- Akşar, S. (2022). *Geleneksel ve Çağdaş Ahşap Yapıların Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Karşılaştırmalı Analizi*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Anderson, J. & Howard, N. (2002). *The Green Guide to Housing Specification - An Environmental Profiling System for Building Materials and Components (3rd Edition)*. Consignia: Oxford Brookes University and The Building Research Establishment.
- Atmaca, A. (2016). Life-cycle assessment and cost analysis of residential buildings in South East of Turkey: part 2—a case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(7), 925-942.
- Baş, G. Y. (2019). *Prefabrike Konut Üretiminde Kullanılan Yapım Sistemlerinin Malzeme Türüne Göre Analizi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Baş, Y. G. & Vural, N. (2019). Prefabrike Beton Panel Sistemlerin Konut Üretiminde Kullanım Olanakları. *Online Journal of Art and Design*, 7(4), 124-133.
- Bayraktar, F. T. (2010). *Türkiye’de Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi için Bir Sistem Önerisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Berger, M. & Finkbeiner, M. (2010). Water Footprinting: How to Address Water Use in Life Cycle. *Assessment Sustainability* 2, 919-944.
<https://doi.org/10.3390/su2040919>.
- Bostancıoğlu, E. & Birer, E. D. (2004). Ekoloji ve ahşap—Türkiye’de ahşap malzemenin geleceği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 9(2).
<https://doi.org/10.17482/uujfe.77325>
- Buyle, M., Braet, J. & Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 379-388.
- Caştur, Ş. N. (2021). *Günümüz Mimarisinde Kullanılan Endüstriyel Ahşap Yapı Elemanları ve Yapı Örneklerinin İncelenmesi*. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Crawford, R. (2011). *Life Cycle Assessment in The Built Environment*. Routledge.
- Curran, M. A. (1996). *Environmental life-cycle assessment*. New York. McGraw-Hill.
- Çelebi, G. (2003). Environmental Discourse and Conceptual Framework for Sustainable Architecture. *Gazi University Journal of Science*, 16(1), 205-216.

- Çetiner, İ. & Metin, B. (2011). *Enerji etkin konut yenilemelerinde enerji tüketimi ve yaşam dönemi maliyetlerinin değerlendirilmesi: İstanbul örneği*. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, (s. 865-887).
- Dara, C., Hachem-Vermette, C., & Assefa, G. (2019). Life cycle assessment and life cycle costing of container-based single-family housing in Canada: A case study. *Building and Environment*, 163, 106332.
- Demirer G. N. (2011). *Yaşam Döngüsü Analizi, Pratik Yaşam Döngüsü Analizi Kılavuzu AB Sürecinde İşletmeler ve Kamu için Yaşam Döngüsü Analizi Yöntem ve Örnekleri*. Ankara: Bölgesel Çevre Merkezi-REC.
- Dodoo, A., Gustavsson, L., & Sathre, R. (2009). Carbon implications of end-of-life management of building materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(5), 276-286.
- EC-JRC. (2011). *Framework and requirements for life cycle impact assessment (LCIA) models and indicators*. ILCD Handbook - International Reference Life Cycle Data System. European Commission - Joint Research Center.
- Eriç, M. (1994). *Yapı fiziği ve malzemesi*, Literatür Yayınları. İstanbul.
- ETKB, EVU. (2016). *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Verimli Ulaşım Projesi*. <http://enerjiverimliulasim.com/tr/icerik/projemiz/41> adresinden alınmıştır.
- Fay, R., Graham, T., & Usha, I. (2000). Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. *Build Res Inf*, 31-41.
- GAZBİR. (2022). 2022 Yılı Doğal Gaz Dağıtım Sektörü Raporu. URL: <https://www.gazbir.org.tr/yillik-raporlar/150> (Erişim Tarihi: 2023, Ekim 28).
- Görmez, K. (2003). *Çevre sorunları ve Türkiye*, Gazi Kitabevi. Ankara.
- Guardigli, L., Monari, F., & Bragadin, M. (2011). Assessing environmental impact of green buildings through LCA methods: A comparison between reinforced concrete and wood structures in the European context. *Procedia Engineering*, 21, 1199- 1206.
- Guinée, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R. & Rydberg, T. (2011). Life cycle assessment: past, present, and future. *Environmental Science & Technology*, vol. 45, no. 1.
- Gustavsson, L., Joelsson, A. & Sathre, R. (2010). Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building. *Energy and Buildings*, 230-242.
- Hafner, A., Winter, S., & Takano, A. (2012). *Wooden products as building material in life cycle analysis*. Proceedings of the third International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2012) (s. 1530-1537). Taylor & Francis Group.
- Hollar, S. (2012). *Ecology : The delicate balance of life on earth*. Britannica Educational Publishing.

- Hollberg, A., Kaushal, D., Basic, S., Galimshina, A. & Habert, G. (2020). A Datadriven Parametric Tool for Under-Specified LCA in The Design Phase. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/5/052018>
- Hoşkara E. (2007). *Ülkesel Koşullara Uygun Sürdürülebilir Yapım İçin Stratejik Yönetim Modeli*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Hoxha E, Habert G, Lasvaux S, Chevalier J, Le Roy R. (2017). Influence of construction material uncertainties on residential building LCA reliability. *J Cleaner Prod*, 144,33–47.
- ISO 14040. (2006). Environmental Management- Life Cycle Assessment - Principles and Framework: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=37456 adresinden alınmıştır.
- Kalfa, S. M. (2018). Building Information Modeling (BIM) Systems and Their Applications in Turkey. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 1(1), 55-66.
- Kamali, M., Hewage, K., & Sadiq, R. (2019). Conventional versus modular construction methods: A comparative cradle-to-gate LCA for residential buildings. *Energy and Buildings*, 204.
- Khasreen, M.M., Banfill P.F., Menzies GF (2009). Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, (1).674–701.
- Kim, D. (2008). *Preliminary Life Cycle Analysis of Modular and Conventional Housing in Benton Harbor, MI*. PhD Thesis, University of Michigan Ann Arbor, Australia.
- Kim, J.-J. & Rigdon, B. (1998). *Sustainable Architecture Module: Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials*. National Pollution Prevention Center for Higher Education.
- Kotaji, S., Schuurmans, A. & Edwards, S. (2003), *Life-Cycle Assessment in Building and Construction: A State-Of-The-Art Report*. SETAC.
- Koyaz, M. (2016). *Yapı elemanı tasarımında malzeme seçimi aracı (YETMSA)*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- König, H., & Cristofaro, L. (2012). Benchmarks for life cycle costs and life cycle assessment of residential buildings. *Build Res Inf*, 558-580.
- Köşürgeli, E. (2022). *Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Bağlamında Ürün Seçiminde Dijital Tasarım Araçlarının İrdelenmesi*. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Maleque, M. A. & Salit, M. S. (2013). *Materials selection and design*. Springer Singapore.

- Masoudi, A., You, H. & Suh, S.-H. (2012). Characterization of Eco-Design Checklists. *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, 29(9), 964– 970.
<https://doi.org/10.7736/kspe.2012.29.9.964>
- Monahan J, Powell JC. (2011). An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. *Energy Build* ,43(1),179–88.
- Monteiro, H., & Freire, F. (2012). Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods. *Energy and Buildings*, 47, 572-583.
- Moschetti R, Brattebø H, Sparrevik M. (2019).Exploring the pathway from zero-energy to zero-emission building solutions: A case study of a Norwegian office building. *Energy Build*, 188–189:84–97.
- Oele, M. & Dolfing, R. (2019). *SimaPro*:
<https://simapro.com/2019/whats-new-in-simapro-9-0> adresinden alınmıştır.
- One Click LCA. (2021a). Life Cycle Assessment software FAQ:
<https://www.oneclicklca.com/support/faq/> adresinden alınmıştır.
- Ortiz, O., Castells, F. & Sonnemann, G. (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23(1), 28-39.
- Önal,H.(2022). *Prefabrike ve Geleneksel Ahşap Esaslı Yapım Sistemlerinin Karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi*. KTO Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Özbek, A. & Engür, M. (2018). EDAS Yöntemi ile Lojistik Firma Web Sitelerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 21/2, 417–429.
<https://doi.org/10.29249/selcuksbmyd.454013>
- Passer, A., Kreiner, H., & Maydl, P. (2012). Assessment of the environmental performance of buildings: a critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, 1116-1130.
- Peñaloza, D., Norén, J., Eriksson, PE. (2013). *Life cycle assessment of different building systems: The Wälludden case study*. Borås SP Technical Research Institute of Sweden.
- Petrovic, B. M. (2019). Life cycle assessment of a wooden single-family house in Sweden. *Applied Energy*, 251.
- Petrovic, B., Myhren, J. A., Zhang, X., Wallhagen, M., & Eriksson, O. (2019). Life cycle assessment of a wooden single-family house in Sweden. *Applied Energy*, 251, 113253.

- Petrovic, B., Myhren, J. A., Zhang, X., Wallhagen, M., & Eriksson, O. (2019). Life cycle assessment of a wooden single-family house in Sweden. *Applied Energy*, 251, 113253.
- Peuportier, B. (2001). Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. *Energy and Buildings* 33(5).
- Pollini, B. & Rognoli, V. (2021). Early-Stage Material Selection Based on Life Cycle Approach: Tools, Obstacles and Opportunities for Design. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 1130–1139.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.07.014>
- Puettmann, M., Sinha, A. & Ganguly, I. (2019). Life cycle energy and environmental impacts of cross laminated timber made with coastal Douglas-fir. *Journal of Green Building*, 14(4), 17-33.
- Reiter, S. (2010, July). *Life cycle assessment of buildings-a review*. In *ArcelorMittal International Network in Steel Construction*. Sustainability Workshop and Third Plenary Meeting.
- S. M. Onat ve İ. Özlüsoylu (2008). Ahşap yapı teknolojisindeki gelişmeler, *International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology*, Ankara, Turkey.
- Sartori I, Hestnes AG.(2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy Build* ,39(3),249–57.
- Schlanbusch, R.D., Fufa, S.M., Häkkinen, T., Vares, S., Birgisdottir, H., Peter Ylmén, P. (2016). Experiences with LCA in the Nordic building industry – challenges, needs and solutions. *Energy Procedia*, 96, 82-93.
- Shaked, S., Crettaz, P., Saade-Sbeih, M., Jolliet, O. & Jolliet, A. (2015). *Environmental Life Cycle Assessment*. CRC Press.
- Sharma A, Saxena A, Sethi M, Shree and Varun V. (2011). Life cycle assessment of buildings: A review. *Renew Sustain Energy Rev* ,15(1),871–5.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), (1993). *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'*. Based on a Workshop at Sesimbra, Portugal, March 31– April 3 1993, Brussels and Pensacola, Florida (USA)
- Şenel, A. (2010). *Sürdürülebilir Bina Yapım İlkelerinin ve Yeni Yaklaşımların İncelenmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Takano, A., Hafner, A., Linkosalmi, L., Ott, S., Hughes, M., & Winter, S. (2015). Life cycle assessment of wood construction according to the normative standards. *European Journal of Wood and Wood Products*, 299-312.
- TEDAŞ. (2021). 2020 Yılı Türkiye Elektrik Dağıtım Sektör Raporu. URL: https://www.tedas.gov.tr/#!Sektor_rapor (Erişim Tarihi: 2022, Haziran 3).

- Thormark, C. (2006). The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building and Environment*, 41(8), 1019-1026.
- Tokyay, V. (2017). *Mimarlık ve Ahşap Yapı İlişkileri*. İstanbul:Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi.
- TS EN ISO 14040. (2007). Çevre Yönetimi, Hayat Boyu Değerlendirme- İlkeler ve Çerçeve. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- TÜİK. (2015). *Su Ürünleri İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu.
- Tuna Taygun, G. (2005). *Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tuna Taygun, G., Vural, S. M., Darçın, P. & Aykal, F. D. (2021). Examining traditional buildings in terms of life cycle: LEED assessment of Diyarbakir houses. *International Journal Of Architectonic, Spatial, And Environmental Design* , 15 (2), 57-79.
- TÜİK. (2020). Su ve Atıksu İstatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atıksu-Istatistikleri-2020-37197>. (Erişim Tarihi: 2023, Ekim 28).
- UNEP. (2019). *2019 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission*, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.
- UNEP. (2021). *2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission*, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission*. Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.
- URL-1 (2024, Nisan 5). 23. Yıllık Küresel CEO Araştırması: <https://www.pwc.com/jg/en/publications/ceo-survey.html> adresinden alınmıştır.
- URL-2 (2024, Nisan 5). Boise Glulam Beam: <https://www.bimobject.com/tr/boisecascade/product/boise08> adresinden alınmıştır.
- URL-3 (2024, Nisan 5) Buildaction:
<https://buildaction.org/abstracts/decarbonizing-construction-guidance-for-investors-and-developers-to-reduce-embodied-carbon/#> adresinden alınmıştır.
- URL-4. (2024, Mayıs 14). İskelet Sistem:
<https://www.borgtimberhouse.co.uk/information/post-and-beam> adresinden alınmıştır.
- URL-5.(2024, Nisan 29). Panel Sistemli Yapı Örneği:
<https://www.wbdg.org/resources/structural-insulated-panels-sips> adresinden alınmıştır.

URL-6.(2024, Nisan 21). One Click LCA Academy:
<https://academy.oneclicklca.com/> adresinden alınmıştır.

URL-7. (2024, Mayıs 14). Modüler Konstrüksiyon:
<https://www.bdcuniversity.com/mbi-modular-construction> adresinden alınmıştır.

URL-8. (2024, Mayıs 14). Carbon Neutral Cities Aliance:
<https://carbonneutralcities.org/> adresinden alınmıştır.

Vural, N. (2005). *Doğu Karadeniz Bölgesi Kırsal Yerleşmelerinde Ahşap Esaslı Prefabrike Sistem Kullanımı Üzerine Bir Modelleme*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.

Wegener, G., Pehler, A., & Tratzmiller, M. (2010). *Bauen mit Holz= Aktiver Klimaschutz. Ein Leitfaden*. Holzforschung Muenchen: Munich.

World Green Building Council. World Green Building Trends 2018. (2018). Available online: <https://www.worldgbc.org/news-media/world-green-building-trends-2018-smartmarket-report-publication>.

Ximenes, F.A.& Grant, T. (2013). Quantifying the greenhouse benefits of the use of wood products in two popular house designs in Sydney, *Australia. Int J Life Cycle Assessment* ,18(4),891–908.

Zabalza, I., Scarpellini, S., Aranda, A., Llera, E. & Jáñez, A. (2013). Use of LCA as a tool for building ecodesign. A case study of a low energy building in Spain. *Energies* ,6(8),3901–21.

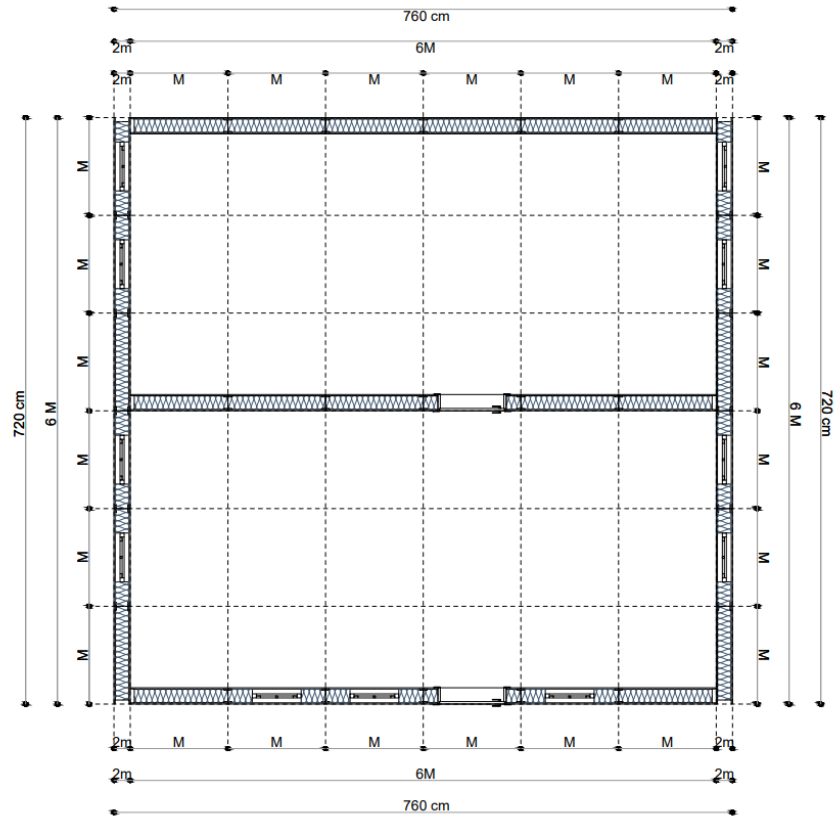
7. EKLER



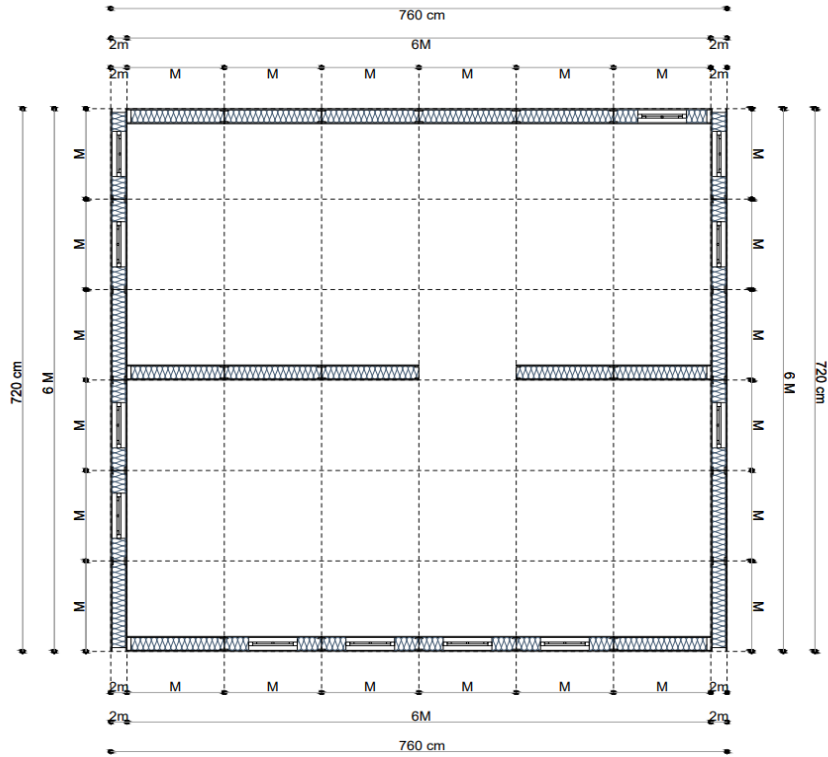
Ek1. Bina yaşam döngüsü değerlendirme oryantasyonu sertifikası



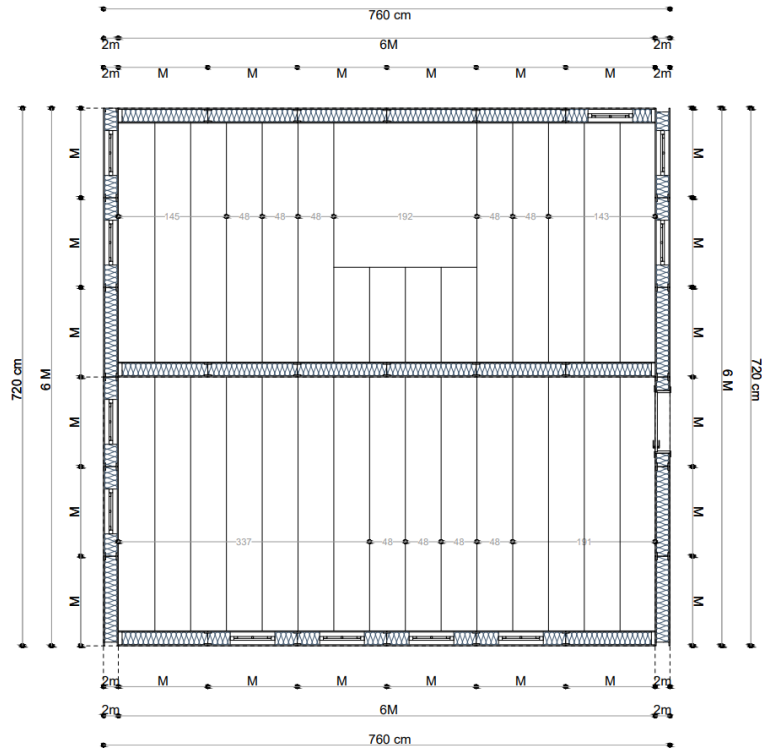
Ek2. Bina sürdürülebilirliği değerlendirme nasıl yapılır sertifikası



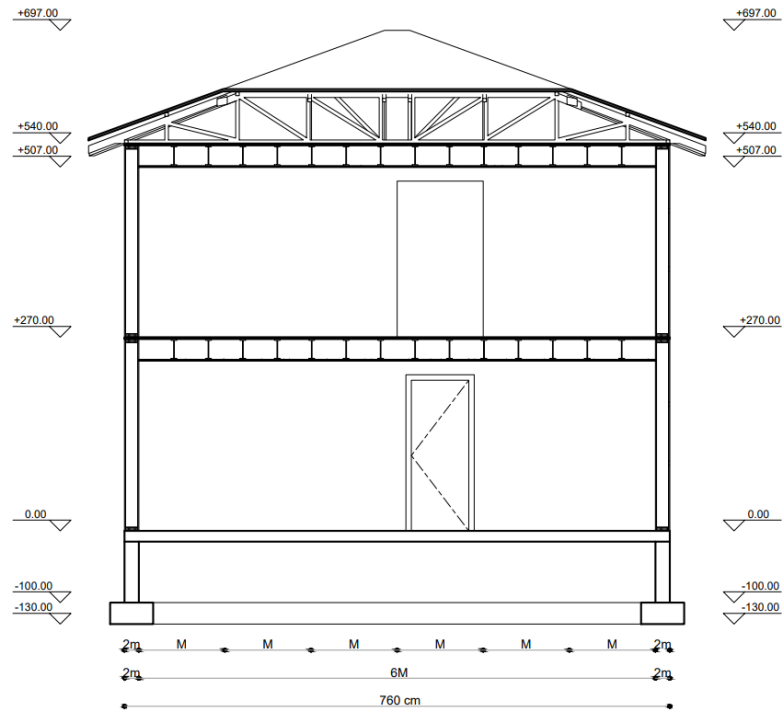
Ek3. Zemin kat modülasyon planı (Vural, 2005)



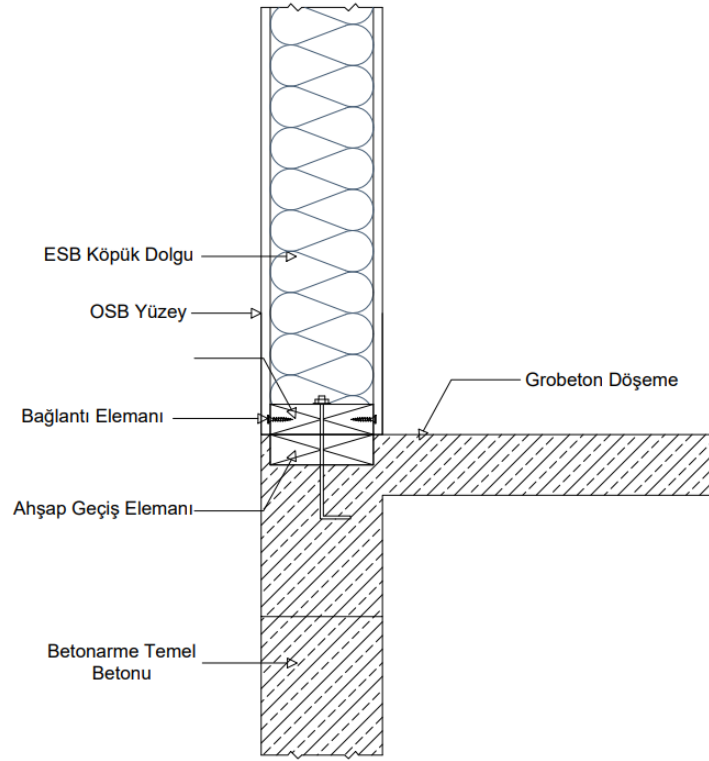
Ek4. I.Kat modülasyon planı (Vural, 2005)



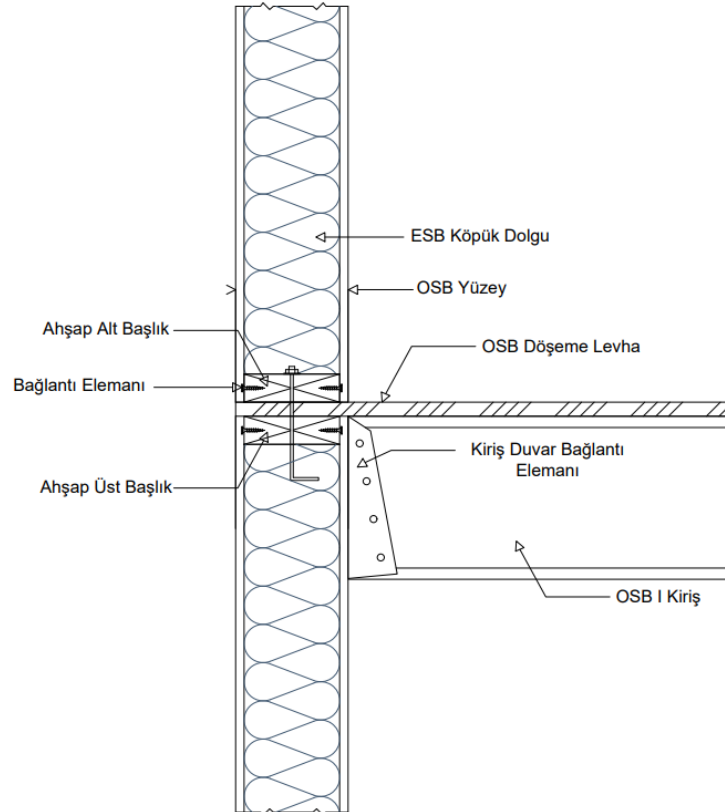
Ek5. Döşeme planı (Vural, 2005)



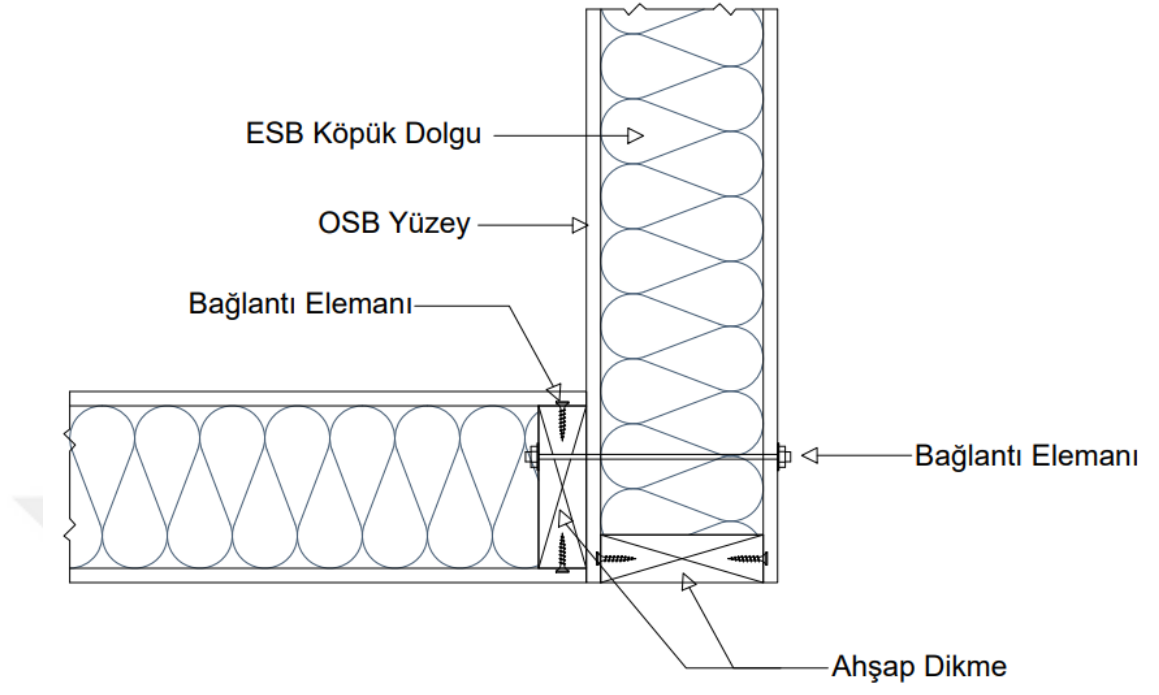
Ek6. A-A kesiti (Vural, 2005)



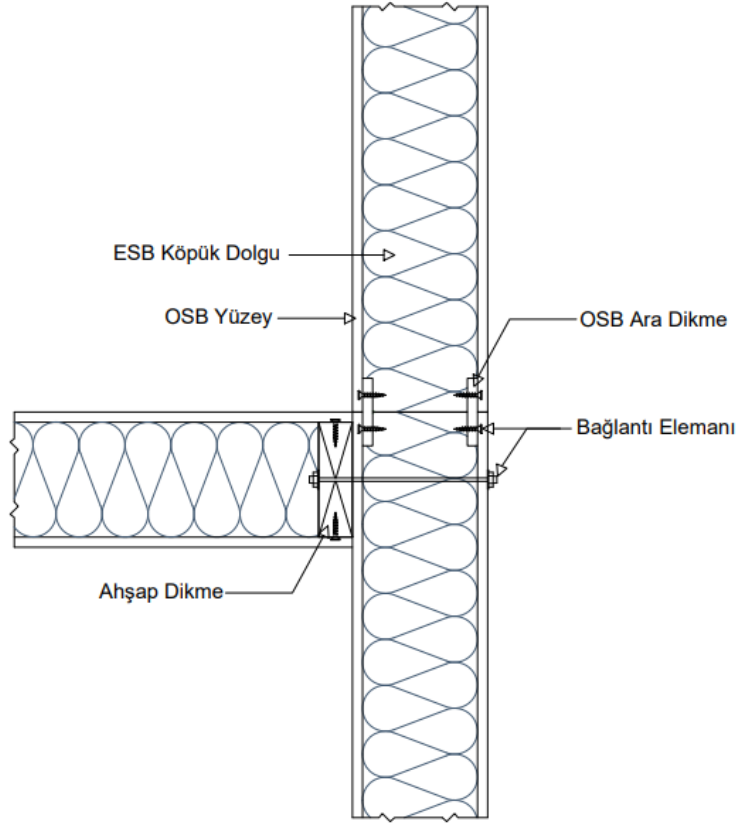
Ek7. Duvar-Betonarme temel bağlantısı (Vural, 2005)



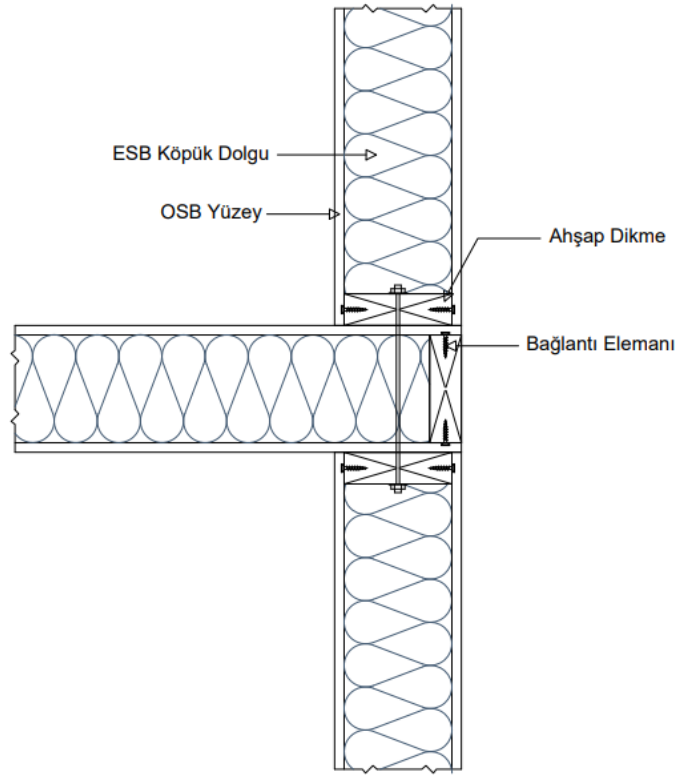
Ek8. Duvar-Döşeme bağlantısı (Vural, 2005)



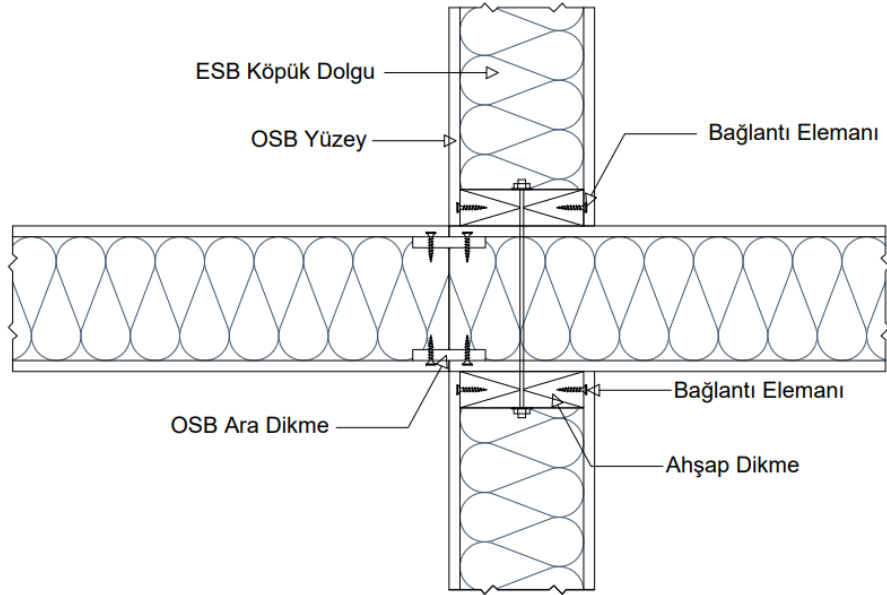
Ek9. PB – 2B (Vural, 2005)



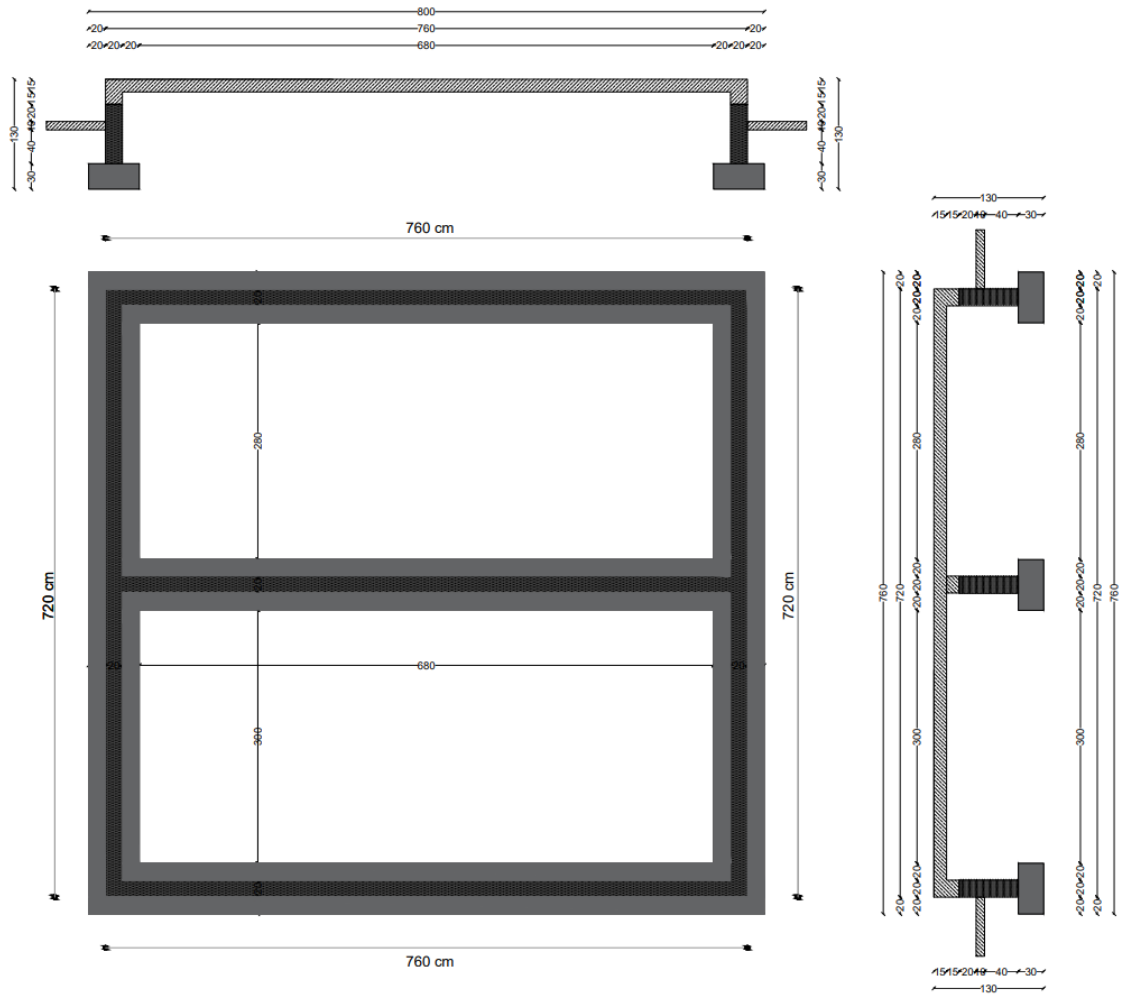
Ek10. PB – 3A (Vural, 2005)



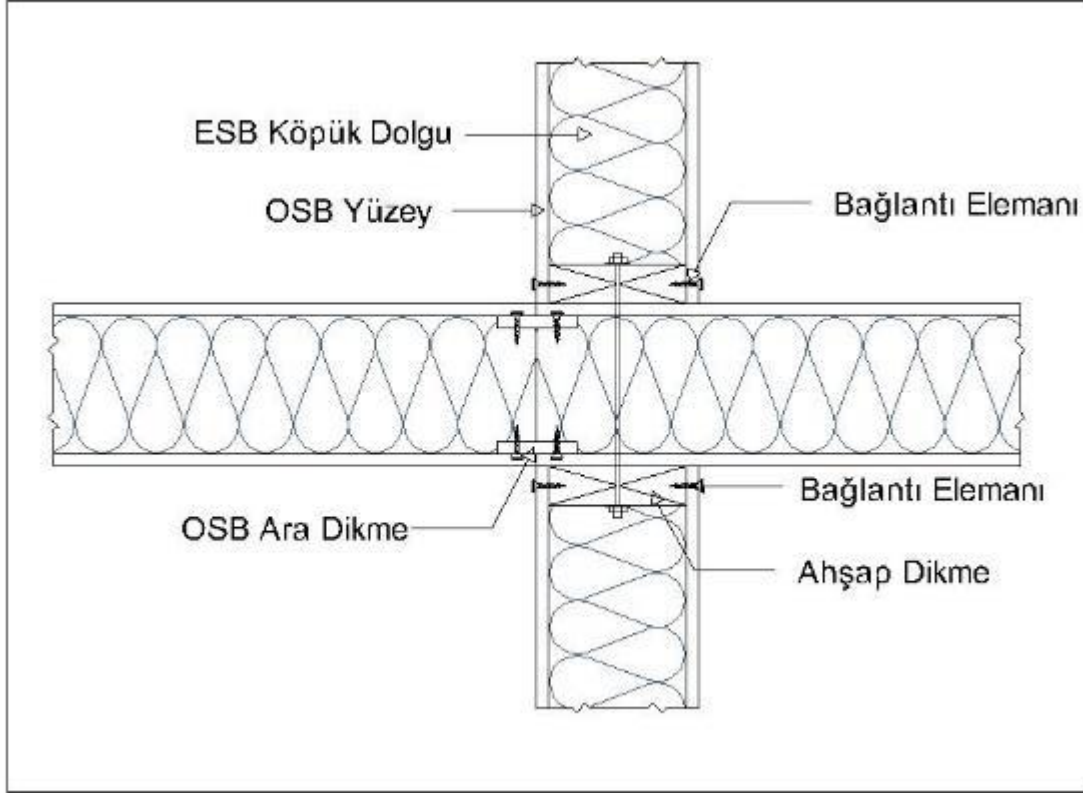
Ek11. PB – 3B (Vural, 2005)



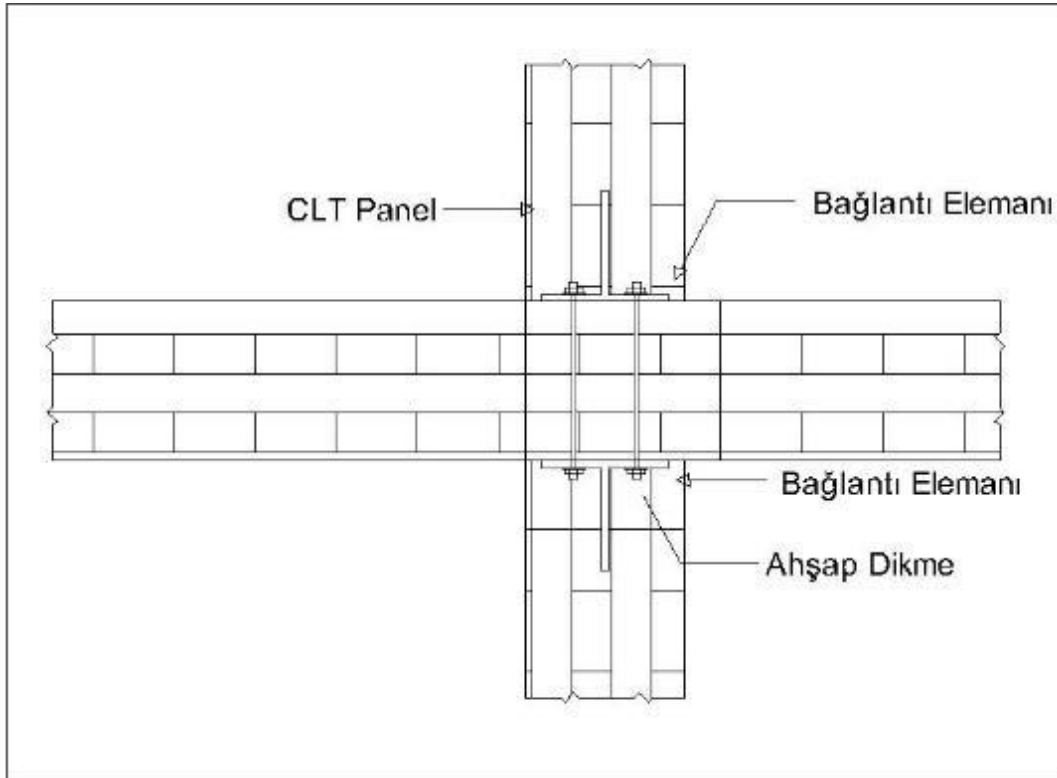
Ek12. PB – 4 (Vural, 2005)



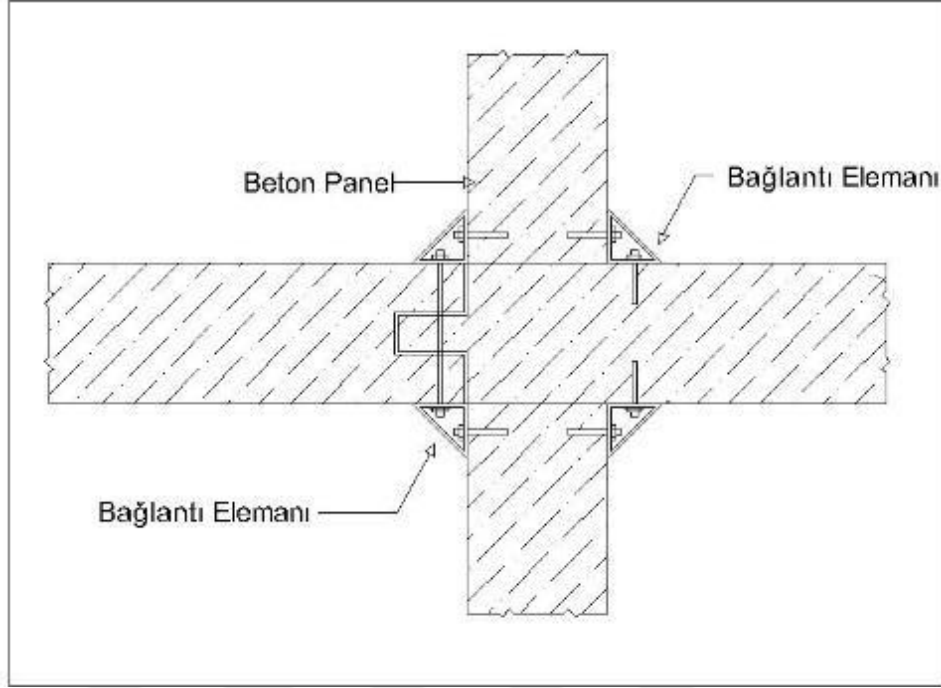
Ek13. Temel planı ve kesitleri (Vural, 2005)



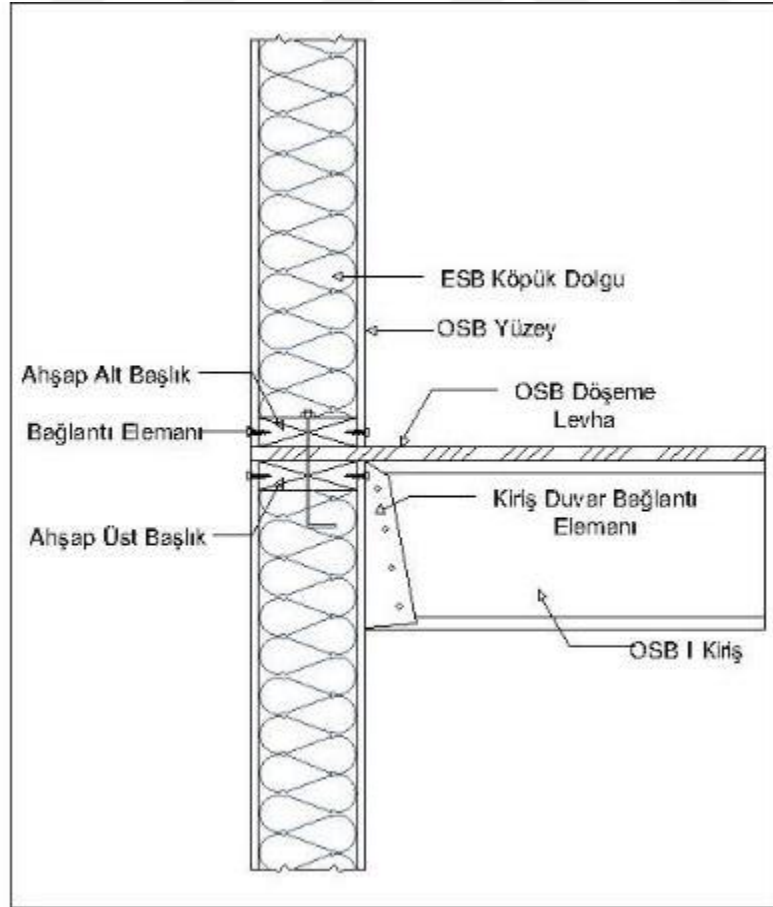
Ek14. SIP Duvar – Duvar bağlantısı



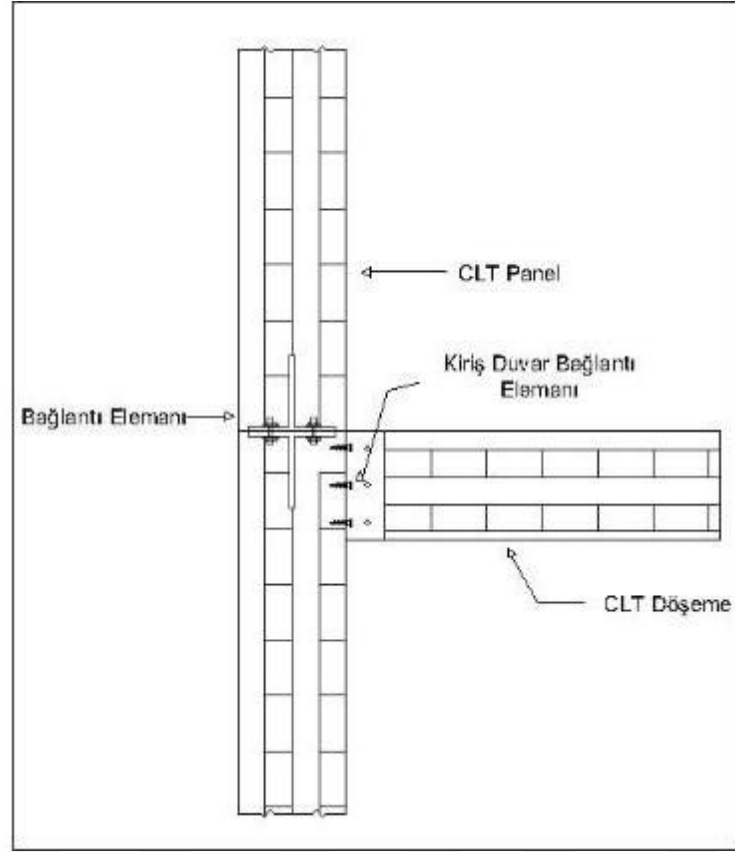
Ek15. CLT Panel Duvar – Duvar bağlantısı



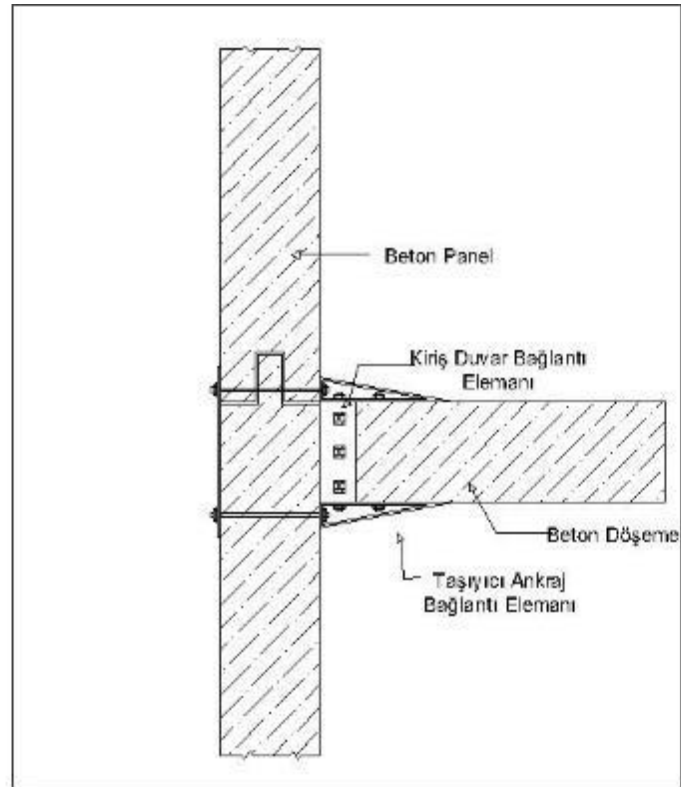
Ek16. Beton Panel Duvar – Duvar bağlantısı



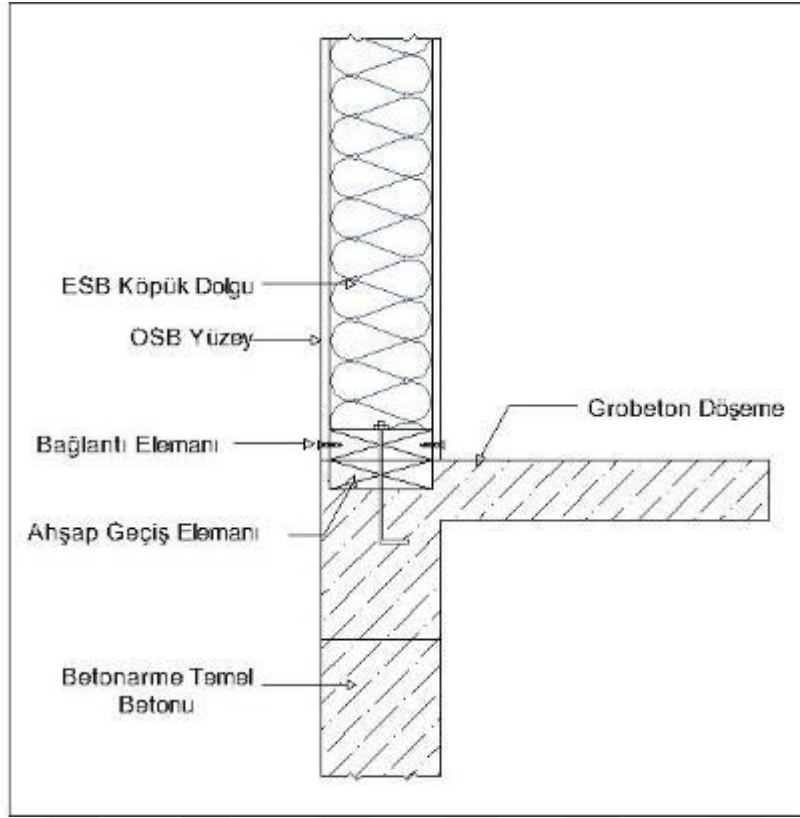
Ek17. SIP Duvar – Döşeme bağlantısı



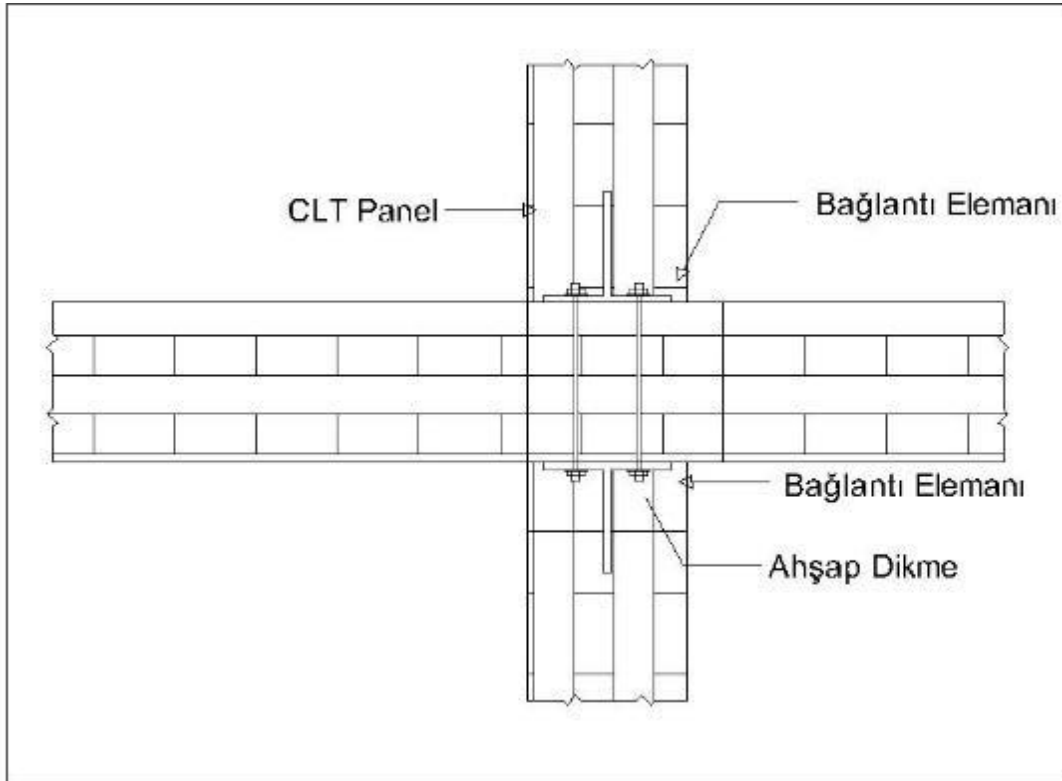
Ek18. CLT Panel Duvar – Döşeme bağlantısı



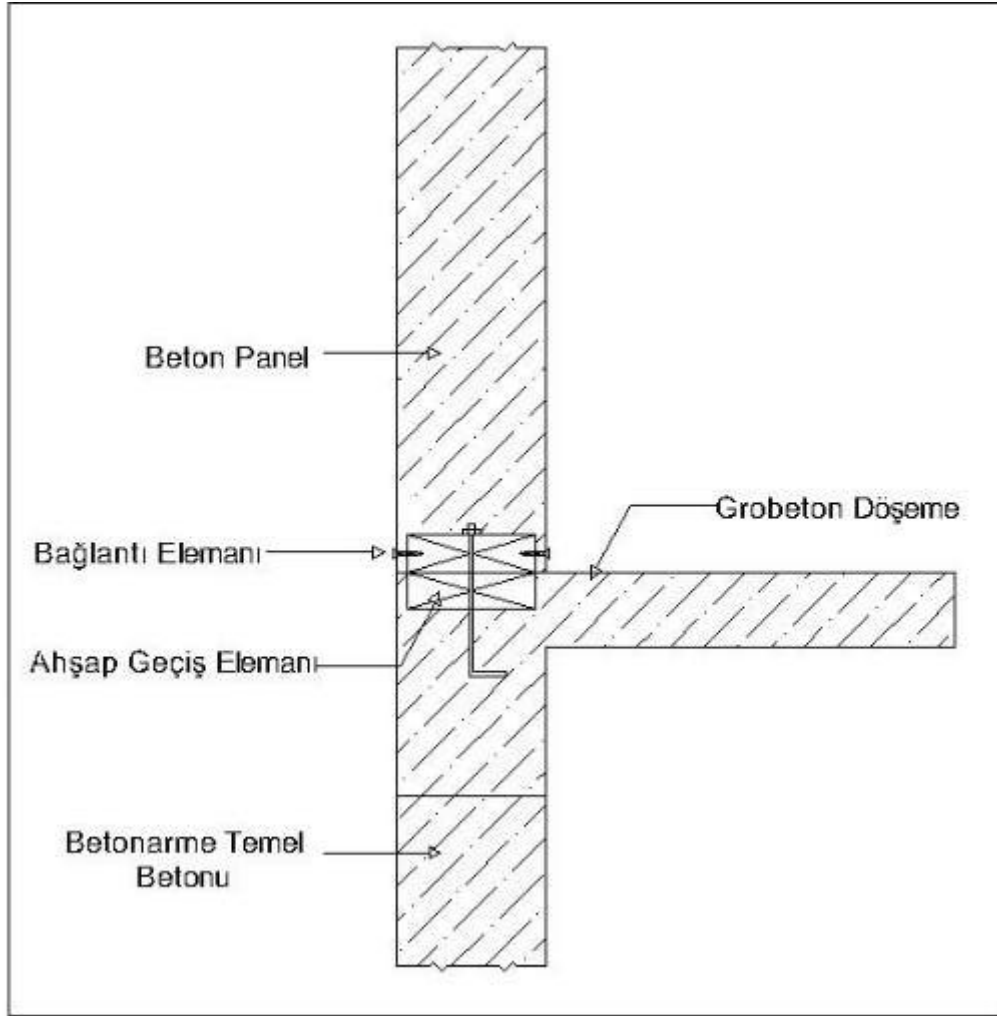
Ek19. Beton Panel Duvar – Döşeme bağlantısı



Ek20. SIP Duvar – Temel bağlantısı



Ek21. CLT Panel Duvar – Temel bağlantısı



Ek22. Beton Panel Duvar – Temel bağlantısı

ÖZGEÇMİŞ

Furkan ŞAHİN, ilköğrenimini İnkılap İlköğretim okulunda bitirdikten sonra lise eğitimini 2016 yılında Erzurum Merkez Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2020 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. Eğitim süreci boyunca özel sektörde önemli şirketlerde görev almıştır. 2023 yılından itibaren Tanzanya'da özel sektörde çalışmalarını sürdürmektedir. İngilizce ve Swahili dillerini bilmektedir.

