



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KONUT MİMARİSİNDE FARKLI TAŞIYICI
SİSTEMLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Hatice Sena AZKUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Aralık-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hatice Sena AZKUR tarafından hazırlanan “Konut Mimarisinde Farklı Taşıyıcı Sistemlerin Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Analizi İle Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 23/12/19 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Hatice Derya ARSLAN




Danışman

Doç. Dr. Fatih CANAN

Üye

Doç. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ

İmza


.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hatice Sena AZKUR

Tarih : 23.12.19



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONUT MİMARİSİNDE FARKLI TAŞIYICI SİSTEMLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Hatice Sena AZKUR

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Fatih CANAN

2019, 94 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Hatice Derya ARSLAN
Doç. Dr. Fatih CANAN
Doç. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ**

Doğal kaynakların kısıtlı olması ve hızla tükenmesi bu kaynakların kullanımını akıllıca yapma fikrine neden olmuştur. Sürdürülebilirlik düşüncesi bu anlamda önem kazanmış ve yapıyı çevreyi inşa ederken gözardı edilemeyecek bir parametre haline gelmiştir.

Binalarda Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), yapıyı oluşturacak her bir bileşenin hammadde aşamasından başlayarak, yapının üretim, kullanım ve yıkım evrelerini de içerecek şekilde tükettiği toplam enerjiyi analiz eder. Bu enerji için tüketilen doğal kaynakların bir sonucu olan çevresel etkileri somut bir şekilde ortaya koyar. Bu analiz sonucunda tasarım revize edilip analiz tekrarlanabilir, farklı alternatifler üretilip karşılaştırılabilir ve doğal çevreye en uygun seçenek belirlenebilir.

Yapı malzemelerinin çıkarılması, üretimi, nakliyesi v.b. süreçlerinde harcanan enerjinin toplamını ifade eden gömülü enerji miktarı düştükçe olumsuz çevresel etkiler azalmaktadır. Benzer şekilde gömülü karbon, bir malzemenin karbon ayak izini ifade eder. Malzemenin üretim süreci boyunca doğaya ne kadar sera gazı salındığının ölçüsüdür. Gömülü enerji ve gömülü karbon miktarı YDD ile ölçülebilmektedir.

Bu çalışmada yapının yapı öncesi evresine dikkat çekmek, bu süreçte tüketilen enerjinin ve doğaya yapılan karbon salınımının taşıyıcı sistemler bağlamında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Betonarme, ahşap ve çelik olmak üzere üç ayrı yapım sistemi alan çalışması üzerinden incelenmiştir ve çevresel etkileri gömülü karbon ve gömülü enerji bazında karşılaştırılmıştır. Bu çalışma yapının hammadde çıkarımı ile başlayıp inşa aşamasına kadar devam eden “beşikten kapıya” kadar olan bölümü ile sınırlandırılmıştır.

Konya’da ahşap müstakil bir konut alan çalışması için seçilmiş, bu yapının farklı taşıyıcı sistemlerle alternatifleri üretilerek çevresel etkileri karşılaştırılmıştır. Ahşap yapı, bu üç yapım sistemi arasında en düşük karbon ve enerji değerlerini vermesi bakımından en çevre dostu alternatif olmuştur. Betonarme konut ve çelik konut sırasıyla onu izlemiştir. Hem düşük üretim enerjisi hem de düşük karbon salınımı avantajıyla az katlı konut bağlamında ahşap taşıyıcı sistemlerin en sürdürülebilir alternatif olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gömülü Enerji, Gömülü Karbon, Sürdürülebilir Mimarlık, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

ABSTRACT

MS THESIS

ENVIRONMENTAL EFFECT EVALUATION OF DIFFERENT STRUCTURE SYSTEMS IN RESIDENTIAL ARCHITECTURE BY USING LIFE CYCLE ASSESSMENT METHOD

Hatice Sena AZKUR

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Fatih CANAN

2019, 94 Pages

Jury

**Assoc.Prof.Dr. Hatice Derya ARSLAN
Assoc.Prof.Dr. Fatih CANAN
Assoc.Prof.Dr. Serra Zerrin KORKMAZ**

Rapid depletion of our natural and limited resources led us to the idea of using these resources wisely and using minimum resources. The idea of sustainability has gained importance in this sense and has become a parameter that can't be ignored while building our environment.

Life cycle assessment (LCA) at building level analyzes the total energy consumed by each component starting from the raw material stage, including the production, use and demolition phases of the building. Environmental impacts that caused by natural resources consumed for energy, can be measured with this method. According to LCA results, the design can be revised, the analysis can be repeated, different alternatives can be produced and compared, eventually the most suitable option for the natural environment can be determined.

If embodied energy which represents the sum of the energy consumed during the process that includes extraction, production, transportation of building materials etc. decrease, the negative environmental impacts decrease as well. Similarly, embodied carbon means the carbon footprint of a material. It is the measure of how much greenhouse gas is released to the nature during the production process of the material. Embodied energy and embodied carbon can be measured by the help of LCA.

In this study it is aimed to draw attention to the pre-construction phase of the buildings and to evaluate the energy consumed and carbon emission in the context of structure systems. Reinforced concrete, wood and steel were studied in three different construction systems and their environmental impacts compared on the basis of embodied carbon and embodied energy. This study is limited to the part of the structure that starts with the extraction of raw materials and continues until the construction phase from cradle to gate.

A wooden family house in Konya was chosen as case study and alternatives created with different structural systems and their environmental impacts were compared in the context of embodied carbon and energy. Among these three construction systems, wooden structure appeared as the most environmentally friendly construction system in terms of lowest carbon and energy values. Reinforced concrete alternative and steel alternative followed it respectively. Wooden structures have been observed to be the most sustainable alternative in the context of low-rise housing with the advantage of both low production energy and low carbon emissions.

Keywords: Embodied Energy, Embodied Carbon, Life Cycle Assessment, Sustainable Architecture

ÖNSÖZ

Öncelikle çalışmamın her aşamasında yol gösteren, bilgilerini paylaştan çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Fatih Canan'a çok teşekkür ederim.

Müellifi oldukları mimari projelerini çalışmada kullanılmak üzere bizimle paylaştan Mim. Mahmut Koçkuzu, Mim. Kemal Gözaydın ve statik projeden sorumlu İnş. Müh. Ahmet Uzunpostalcı'ya; tez çalışmamda mühendislik konusunda büyük katkı sunan İnş. Müh. Mahmut Sami Yıldırım ve İnş. Müh. Şaban Yalınız'a, yardımlarını esirgemeyen Mak. Müh. Erdal Tozoğlu şükranlarımı sunarım.

Her zaman bana cesaret veren, yardımına koşan canım annem Hacer Doğan'a ve her konuda bana destek olan sevgili eşim Mustafa Kutay Azkur'a özellikle teşekkür ederim.

Son olarak babam Dr. Nuri Doğan'ı sevgiyle anıyorum.

Hatice Sena AZKUR
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Çalışmanın Kapsamı	3
1.3. Çalışmanın Yöntemi	3
1.4. Kaynak Araştırması	3
2. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD)	7
2.1. Sirküler Ekonomi.....	8
2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Tanımı.....	11
2.3. YDD Metodolojisi	13
2.4. Bina Ölçeğinde YDD.....	16
2.5. Gömülü Karbon	23
2.6. Gömülü Enerji.....	25
2.7. YDD Ölçme Araçları	28
2.8. ICE Veri Tabanı.....	29
3. ARAŞTIRMA ÖRNEĞİ VE FARKLI TAŞIYICI SİSTEMLERİN YDD İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	31
3.1. Ahşap, Betonarme ve Çelik Yapım Sistemleri	31
3.2. Araştırma Örneğinin Seçimi ve Çalışmanın Sınırları	36
3.2.1. Ahşap Konutun Gömülü Enerjisi ve Gömülü Karbon Değeri.....	43
3.2.2. Betonarme Konutun Gömülü Enerjisi ve Gömülü Karbon Değeri.....	50
3.2.2.1. Betonarme Konut Birinci Alternatif	53
3.2.2.2. Betonarme Konut İkinci Alternatif	60
3.2.3. Çelik Konutun Gömülü Enerjisi ve Gömülü Karbon Değeri	65
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	74
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CO₂ : Karbondioksit
CH₄ : Metan
CO_{2e} : Karbondioksit eşdeğeri
HFC : Hidrofluorokarbon
Kg : Kilogram
M² : Metrekare
Mj : Megajul
N₂O : Nitrözoksit
PFC : Perfluorokarbon
SF₆ : Kükürtheksaflorür

Kısaltmalar

BM : Birleşmiş Milletler
EPD : Environmental Product Declaration
ETKB : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EPA : U.S. Environmental Protection Agency
EMF : The Ellen MacArthur Foundation
GWP : Global Warming Potential
ICE : The Inventory of Carbon and Energy
ISO : International Standards Organisation
LCA : Life Cycle Assessment
OSB : Oriented Strand Board
TS : Türk Standartları
UAB : Ulusal Ahşap Birliği
UNEP : United Nations Environmental Programme
WWF : World Wildlife Fund
YDD : Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği, küresel ısınma ve bunlara bağlı iklim değişikliği çağımızın en önemli sorunlarından biridir. Modern yaşamın büyük enerji ihtiyacını karşılamak için doğal ve kısıtlı kaynakların bilinçsiz tüketimi, bunlar sonucunda doğaya salınan karbon emisyonları çevre kirliliği yaratarak ekolojik dengeye zarar verecek boyutlara ulaşmıştır. Doğal Hayatı Koruma Vakfı'nın (WWF) 2010 yılında Türkiye için hazırladığı iklim değişikliği raporuna göre küresel ısınmanın neden olduğu sıcaklık artışının 2030 yıllarının sonuna kadar sınırlı kalacağı, ancak bu tarihlerden itibaren sıcaklıkların Türkiye ve Konya Havzası'nda hızla artacağı görülmüştür. Öyle ki kış mevsimindeki artışların yer yer 4°C civarına, yaz mevsimindeki artışların ise 6°C'ye ulaşacağı öngörülmektedir. Özetle Türkiye'nin yakın gelecekte daha sıcak, daha kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağı bilim insanlarının yaptığı modellemelerde ortaya konmuştur (WWF, 2010). Bu veriler ışığında toplam enerji tüketiminin %36'sından ve enerji tüketimi ile ilişkili karbondioksit emisyonlarının %39'undan sorumlu olan binalarda ve inşaat sektöründe iyileştirme ve daha çevreci yaklaşımlar benimsemek bir zorunluluk haline gelmiştir (UNEP, 2017).

Binalar çok büyük miktarlarda enerji kullanır ve atık üretirler. Bunun yanı sıra binalarda kullanılan enerji, doğal kaynakların tüketimine yol açarak doğal dengeyi olumsuz etkiler. Binalardaki ısıl konforun sağlanması için yapının ısıtılması ve soğutulması gereklidir. Bunun için gereken enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların yanması ile ortaya çıkan enerji fazla olmasına karşın çevreye verdikleri zarar yüksektir. Bu bağlamda enerjinin etkin bir biçimde kullanılması çok önemlidir (Yüceer, 2015).

Yapılar sadece kullanım aşamasında değil üretim aşamasında da enerji tüketirler ve bir takım çevresel etkilere sebep olurlar; zira malzemenin çıkarılması, şantiye alanına nakledilmesi gibi durumlar yine fosil yakıtların kullanıldığı doğaya karbon salınımına neden olan süreçlerdir. Yine benzer şekilde ömrünü tamamlayan yapının yıkımı sırasında dahi bu etkiler gerçekleşir. Sonuç olarak yapının yalnızca kullanım aşamasında değil tüm yaşam döngüsünü kapsayan bir enerji tüketimi ve çevresel emisyonlar söz konusudur. Ürün ve malzemedeki kaynaklanan bu etkilerin çok iyi bilinerek, güvenilir bir yöntemle ölçülmesi, karşılaştırılması, yayınlanması bir ihtiyaç

haline gelmiş; “Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD)” bu konuda standart bir yaklaşım olarak kullanılmaya başlanmıştır (ETKB, 2016).

Binalarda Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, yapıyı oluşturacak her bir bileşenin hammadde aşamasından başlayarak, yapının üretim, kullanım ve yıkım evrelerini de içerecek şekilde tükettiği toplam enerjiyi analiz eder. Bu enerji için tüketilen doğal kaynakların bir sonucu olan çevresel etkileri somut bir şekilde ortaya koyar. Bu analiz sonucunda tasarım revize edilip analiz tekrarlanabilir, farklı alternatifler üretilip karşılaştırılabilir ve doğal çevreye en uygun seçenek belirlenebilir.

Yapı malzemelerinin bina yapım evresine gelene kadar tükettiği enerjinin yaşam döngüsü boyunca tüketilen enerjinin % 10’u ile % 30’u arasında değişebileceği gözlemlenmiştir (Guan v.d., 2015). Bu yüzdeler yapının sadece kullanım aşamasındaki enerji etkinliğinin değil, yapı öncesi evrenin de önemine vurgu yapmaktadır. Bu sebeple tez çalışması yapı öncesi evreyi konu almaktadır. Binanın yaşam döngüsünde yapı öncesi evre, yapı malzemelerinin ve ürünlerinin üretimini kapsar. Üretim evresinde hammaddenin doğadan çıkarılması için çalışan makinelerin kullandıkları yakıt, sahada kullanılan elektrik, hammaddenin fabrikaya nakledilmesinde kullanılan yakıt, üretim sürecinde gereken enerjiler gibi pek çok işlem doğaya karbon salınımına neden olmaktadır. Tüm bu değerler yaşam döngüsü değerlendirmesi ile ölçülebilmekte ve malzemelerin üretimi için gereken enerji -birim ölçüde (kg ya da ton vb.)- net bir şekilde ortaya konabilmektedir. Yapıyı oluşturan ürünlerin ve malzemelerin yapıda kullanılacak miktarı ölçüsünde doğaya etkileri olacağından, yaşam döngüsü değerlendirmesi verileri incelenerek daha düşük karbon emisyonuna sahip olan malzeme ve ürünler tercih edilebilir (Curran, 2006).

1.1. Çalışmanın Amacı

Sürdürülebilir ve ekolojik mimarlık konusunda yapılan çalışmalar daha çok yapıların kullanım aşamasındaki enerji verimliliği üzerinde yoğunlaşmıştır (Adalberth, 1997). Bu çalışmada yapının yapı öncesi evresine dikkat çekmek, bu süreçte tüketilen enerjinin ve doğaya yapılan karbon salınımının taşıyıcı sistemler bağlamında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Taşıyıcı sistemlerin özellikle incelenmesinin sebebi strüktürlerin kütleli ağırlığının binanın tamamına kıyaslandığında oldukça baskın

olması ve diğer kalemlere göre en çok enerjiyi tüketen ve en çok karbon salınımına neden olan kısmını oluşturmasıdır. Betonarme, ahşap ve çelik olmak üzere üç ayrı yapım sistemi alan çalışması üzerinden incelenmiştir ve çevresel etkileri gömülü karbon ve gömülü enerji bağlamında karşılaştırılmıştır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Yapının yaşam döngüsü, yapıda kullanılan malzemelerin hammadde çıkarım aşamasından başlayarak malzemenin üretimi, yapının inşası, kullanımı ve yıkımını da kapsayan “beşikten mezara” bir döngüyü ifade eder. Bu çalışma yapının hammadde çıkarımı ile başlayıp inşa aşamasına kadar devam eden “beşikten kapıya” kadar olan bölümü ile sınırlandırılmıştır. Bu bağlamda mimar ve mühendislerin etkin rol oynadığı tasarım aşamasında tercih edeceği taşıyıcı sistem ve malzemelerin çevresel performansları üç ayrı alternatif (betonarme, çelik ve ahşap) üzerinden gömülü enerji ve gömülü karbon bağlamında net veriler ile karşılaştırılmıştır.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Konya’da 2013 yılında inşa edilmiş müstakil bir konut alan çalışması için seçilmiştir. Mevcut konutun taşıyıcı sistemi ahşap çerçeve olarak tasarlanmış ve uygulanmıştır. Çalışma kapsamında seçilen konutun mimari tasarım projesi aynı kalacak şekilde, taşıyıcı sistemi değiştirilerek alternatif iki proje hazırlanmıştır. Bunlardan ilki betonarme, ikincisi ise çelik konstrüksiyonlu alternatiftir. Bu alternatiflerin statik hesaplamaları yapılmış ve mimari projeleri çizilerek metrajları çıkarılmıştır. Elde edilen miktarlar binaların sürdürülebilirliği konusunda hazırlanmış YDD esaslı bir veritabanı olan ICE (The Inventory of Carbon and Energy) veritabanı kullanılarak, alternatiflerin gömülü karbon ve gömülü enerji verileri karşılaştırılmıştır.

1.4. Kaynak Araştırması

Adalberth (1997), Yaşam Döngüsü Değerlendirmesini binalar bağlamında enerji açısından ele almıştır. Yapıların üretim, kullanım ve yıkım aşamasında tükettiği enerjinin hesaplanması için bir metot önermiştir.

Kim ve Rigdon (1998), Yaşam döngüsü tasarımı ile ilgili en çok başvurulan kaynaklardan biridir. Sürdürülebilir tasarım ve çevre kirliliğinin önlenmesi üzerine stratejiler yaşam döngüsü bağlamında incelenmiştir. Michigan Üniversitesinde hazırlanmış kapsamlı bir çalışmadır.

Fay v.d. (2000), Avusturalya’da bir konut üzerinde yaşam döngüsü enerji analizi metodu ile alan çalışması yapmıştır. Bu makalede yaşam döngüsü enerji analizi metodunun tasarım kararları aşamasında bize sağlayabileceği yararlarından bahsedilmiştir.

Roaf v.d. (2001), “Ekolojik Ev: Tasarım Rehberi” isimli kitabında sürdürülebilir konutları tarihten günümüze ele alarak, sürdürülebilir konutlar üzerine yapılmış oldukça kapsamlı bir literatür çalışmasıdır. Gömülü enerji kavramının ve yaşam döngüsü yönteminin sürdürülebilir konutlar için önemini anlatmıştır.

Tuna Taygun (2005), Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi isimli doktora tezinde, yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi için yeni bir model önerilmiştir. Önerilen modelin polivinil klorür doğrama üzerinde örneklenmesi gerçekleştirilmiştir.

Curran (2006), “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi : İlkeler ve Uygulamalar” isimli çalışma ABD çevre koruma ajansının (EPA) bir yayınıdır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi üzerine bir literatür çalışmasıdır. Yöntemin tarihçesinden uygulama esaslarına kadar YDD’ye genel bir bakış sunmaktadır.

TS EN ISO 14040 :2006, (2007), YDD metodunun uygulama ve esaslarını detaylarıyla anlatan ISO 14040:2006 standartlarının 2007 yılında yayınlanan Türkçe tercümesidir. YDD tanımı, amacı, kapsamı, aşamaları gibi konular kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

Hammond ve Jones (2008), İngiltere Bath üniversitesinde geliştirilmiş bir yaşam döngüsü değerlendirmesi veri setidir. Başlıca yapı malzemelerinin gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerini içermektedir. 2011 yılında veriler güncellenmiştir. Günümüzde yeni sürümünün yayınlanması için çalışmalar devam etmektedir.

Canan ve Bakır (2008), Canan'ın 2002'de tamamlanan “ Enerji ve çevre bilinçli konut tasarımında bina ömür süreci yaklaşımı” isimli tez çalışmasından yararlanılarak yayınlanmış bir makaledir. YDD yöntemini toplu konutlar üzerinden inceleyen bir alan çalışmasıdır. Konya'da mevcut bir toplu konutun yaşam döngüsü boyunca tükettiği enerji ve çevresel etkileri bağlamında incelenmiş, mevcut projede iyileştirmeler yapılarak her iki projenin çevresel verileri somut sayısal veriler ile karşılaştırılmıştır.

TS EN 15978, (2012),”Yapılarda sürdürülebilirlik - binaların çevresel performansının değerlendirilmesi - hesaplama yöntemi” isimli rapor 15978 numaralı ISO standardının Türkçe tercümesidir. Türk standartları enstitüsü tarafından yayınlanmıştır.

Tanaçan (2012), Geçmişten günümüze artan enerji ihtiyacını, bunun yol açtığı çevre problemlerini ve bu süreçte atılan çevreci adımları tarihsel sıra ile ele almıştır. Tüm bu gelişmelerle birlikte yaşam döngüsü değerlendirmesinin ortaya çıkışı ve önemi üzerinde durulmuştur.

Yüceer (2015), Yapıların enerji etkinliği ve çevresel etkileri konularını sistematik bir şekilde aktaran bir literatür çalışmasıdır. Çevre kirliliği, yapıda ısı konfor, bina kabuğu tasarımı ve bilgisayar destekli enerji etkin bina tasarımı gibi konulara değinilmiştir.

Chau v.d. (2015), Son yıllarda yaşam döngüsü değerlendirmesi ve yaşam döngüsü enerji analizi konuları ile ilgili yapılmış yayınları oldukça detaylı bir şekilde tablolaştırıp sonuçlarını listeleyen bir derleme çalışmasıdır.

Guan v.d., (2015), Avusturalya'da 8 konut yapısının beşikten mezara tükettikleri enerjiler YDD ile değerlendirilmiş ve yapı öncesi, kullanım aşaması ve yıkım aşamasında tüketilen enerjiler karşılaştırılmıştır.

DeWolf , (2017), “Taşıyıcı sistem tasarımında düşük karbonlu yollar : Bina yapılarının gömülü yaşam döngüsü etkileri” isimli doktora tezi ile ahşap , çelik ve

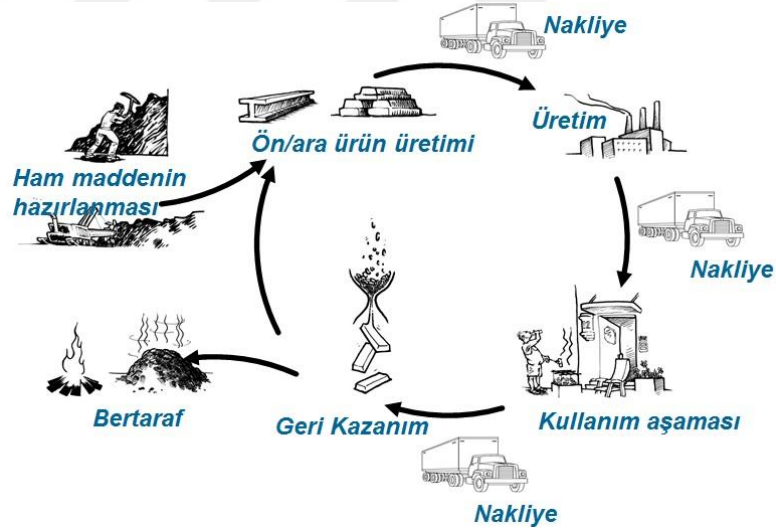
betonarme yapım sistemleri hem malzeme hem strüktür sistemi hem de kentsel bakış açılarıyla değerlendirilmiştir.

Benli Yıldız (2017), “Cam elyaf takviyeli beton (gfrc) cephe panelleri için yaşam döngü değerlendirmesi (YDD) yöntemiyle bir sürdürülebilirlik çerçevesi geliştirilmesi” isimli doktora tezinde YDD metodolojisi detaylı bir şekilde ele alınmış, yapı ürünü seviyesinde yaşam döngüsü değerlendirmesi ile beton cephe panellerinin sürdürülebilirliği değerlendirilmiş, süreçte iyileştirme önerileri getirilmiştir.

Gervasio & Dimova, (2018), Bu yayın Avrupa Komisyonu’nun “Binaların Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Modeli” isimli bir teknik rapordur. BS EN 15978:2011 numaralı avrupa standartlarına dayanarak bina düzeyinde yaşam döngüsü değerlendirmesinin nasıl yapılması gerektiğini detaylıca anlatan bir metindir

2. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD)

Yaşam döngüsü değerlendirmesi bir ürünün ya da hizmetin tüm yaşam evreleri boyunca çevresel etkilerini ölçen bir analiz biçimidir. Binalar özelinde yaşam döngüsü değerlendirmesine bakıldığında yapı malzemelerinin hammaddelerinin kaynaktan çıkarılması ile başlayıp, yapının üretimi, kullanım aşaması ve binanın kullanım ömrünün tamamlanması ile başlayan geri dönüşüm evrelerini içeren sistematik bir analiz olduğu görülür. Yaşam döngüsü kaynaktan yaşam sonuna ölçülebilen bir sistem olması sebebiyle “beşikten mezara (cradle to grave)” terimi ile ifade edilir. YDD’nin en kapsamlı şekli ise “beşikten beşiğe (cradle to cradle)” olanıdır. Beşikten beşiğe hali ile yaşam sonundan sonra gelen geri dönüşüm, yeniden kullanma, yeniden hammadde kaynağına dönüşme gibi durumlar ile yaşam döngüsü çemberi kapanarak tam bir döngüsellik söz konusu olur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Ürün yaşam döngüsü çemberi (<https://www.altensis.com/hizmetler/urun-surdurulebilirliigi/lca-yasam-dongusu-degerlendirmesi/>)

Avrupa birliğinin son yıllarda politika olarak benimsediği sirküler ekonomi modeli ile yaşam döngüsü değerlendirmesinin ve “beşikten beşiğe” yaklaşımının popülaritesi artmıştır. 2019 yılı dünya sirküler açık raporuna göre günümüzde küresel ölçekte kullanılan hammaddelerin %90’ından fazlası ekonomiye geri dönüştürülememektedir (Anonymous, 2019). Bu da sirküler ekonomide aynı ölçüde bir açık olduğu anlamına gelmektedir. Gezegenimizin kısıtlı doğal kaynaklarını korumak ve iklim değişikliği ile mücadele için bu açığın azaltılması oldukça önemlidir.

2.1. Sirküler Ekonomi

Mevcut “al-yap-kullan-at” endüstriyel modelin aksine, sirküler ekonomi toplum geneline yayılan faydalara odaklanarak büyümeyi yeniden tanımlamayı amaçlamaktadır (EMF, 2013). Doğrusal (lineer) ekonomide kısıtlı kaynakların kullanım sonunda tükenmesi söz konusu iken sirküler ekonomide malzemelerin uzun süre döngü içinde tutularak tekrar kullanılması, yeniden döngüye kazandırılması esastır (Şekil 2.2).

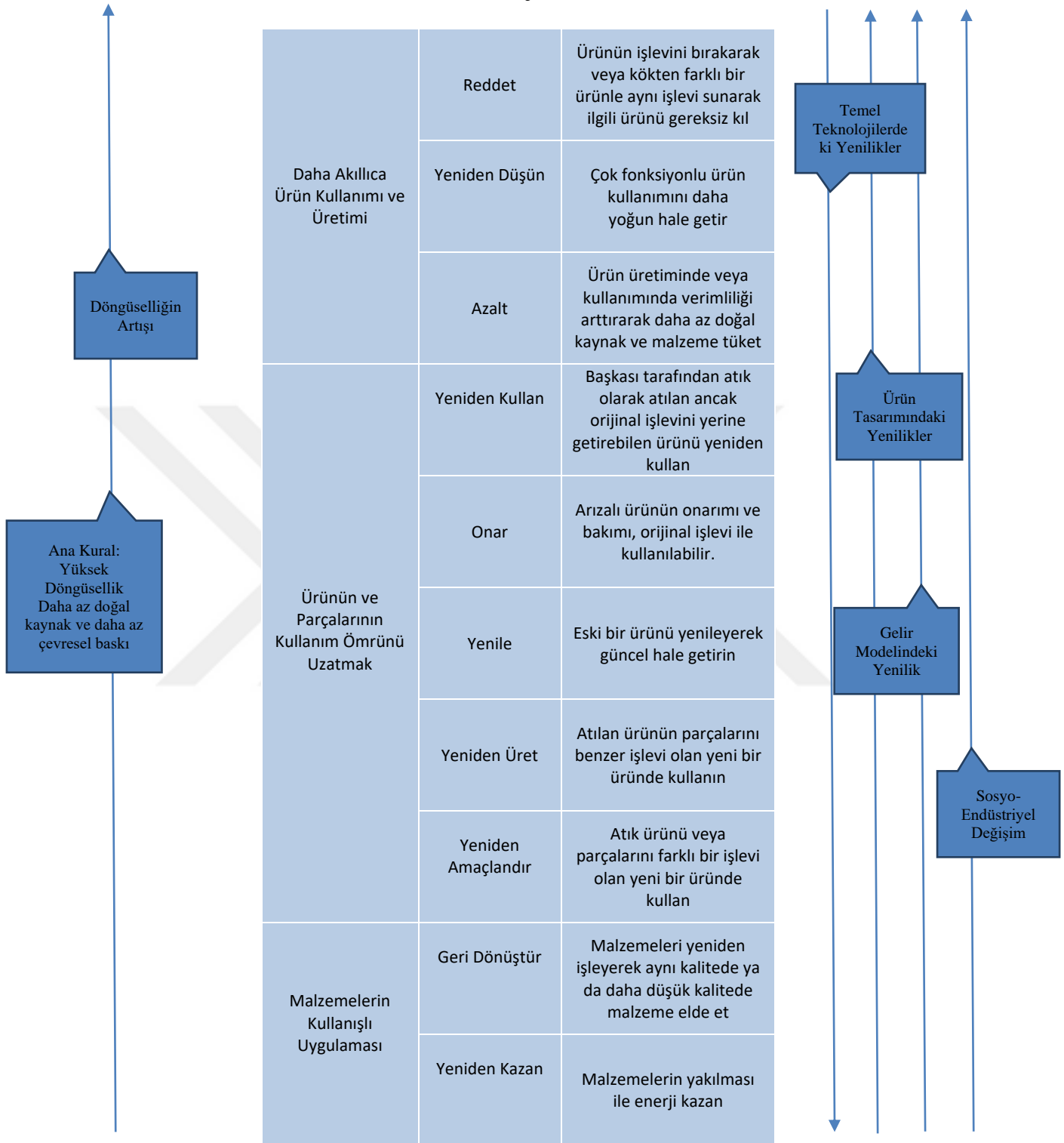


Şekil 2.2. Doğrusal ekonomi ve sirküler ekonomi (<https://www.mfe.govt.nz/waste/circular-economy>)

Avrupa Birliğinin bu konudaki eylem planı, ürün ve malzemelerin ekonomide mümkün olduğunca uzun süre tutularak sirküler ekonomiye geçişi teşvik etmek, böylece atık üretimini en aza indirmek ve gereksiz yeni hammadde çıkarımını önlemek şeklindedir. Bu durumda binaların tasarımı yapılırken yapının en uzun süre kullanımda kalacak kalitede yapılması, kullanım evresinde minimum bakım gerektirmesi ve yıkım aşamasında da değerli malzemelerin ve bileşenlerin yeniden kullanılması ya da geri dönüştürülmesini en üst düzeyde sağlamak gerekmektedir (Gervasio & Dimova, 2018). Şekil 2.3.’de doğrusal ekonomiden sirküler ekonomiye geçiş stratejileri tablo halinde ifade edilmiştir.

Sirküler Ekonomi

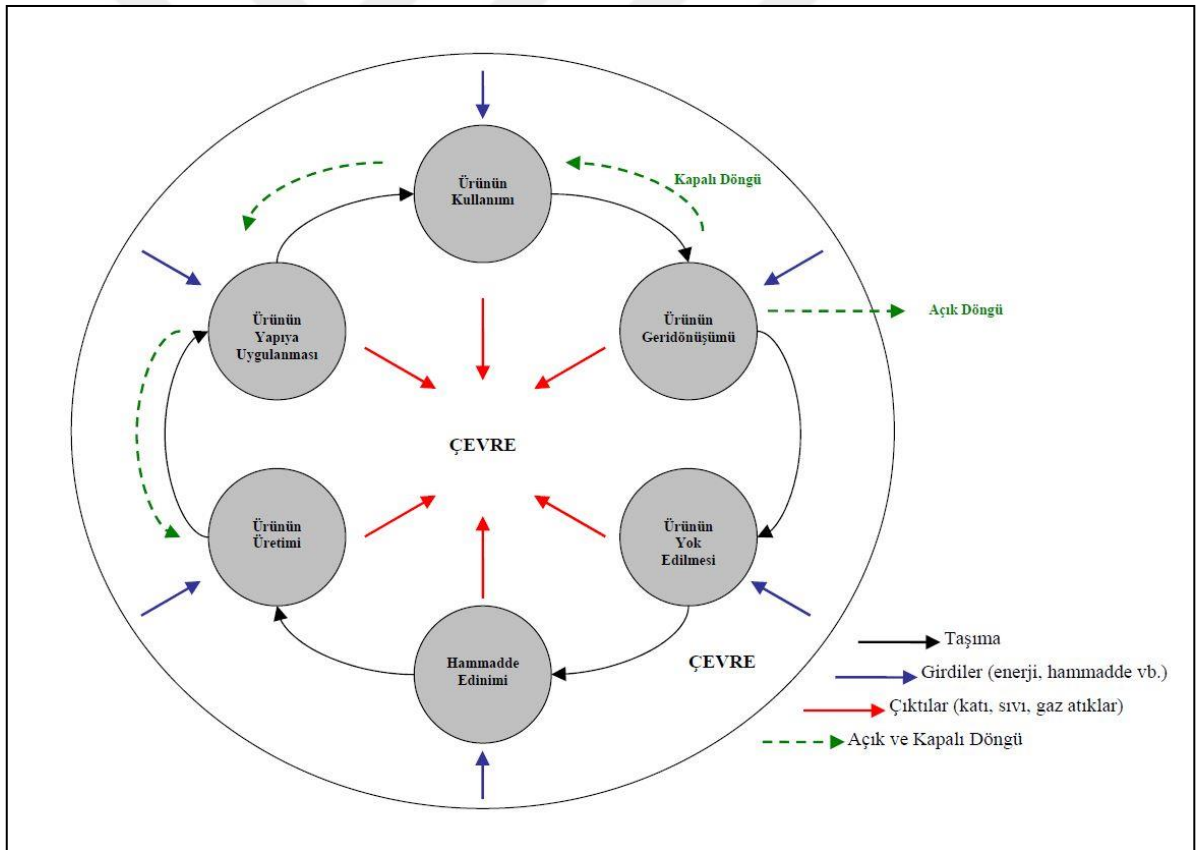
Stratejiler



Doğrusal Ekonomi

Şekil 2.3. Sirküler ekonomi stratejileri (<https://www.pbl.nl/>)

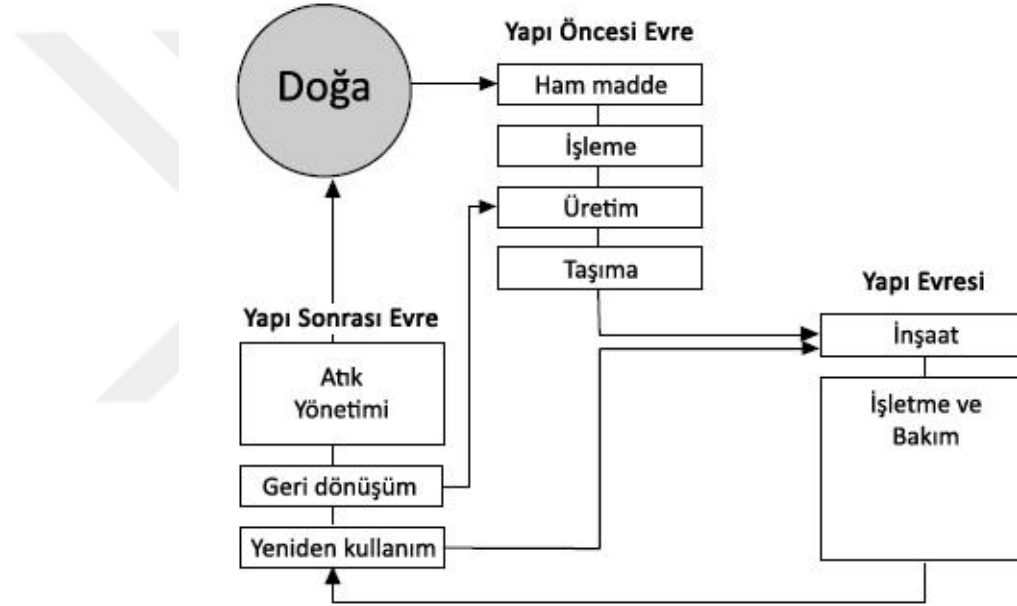
Yaşam döngüsü değerlendirmesi de bu anlamda sirküler ekonomiye büyük katkı sunmaktadır. YDD, metodolojisi itibarıyla her ürünü kaynağından yaşamının sonuna kadar incelemesi ve çevresel etkilerini ortaya koymasıyla karar mekanizmalarına karşılaştırabilecekleri somut veriler sunmaktadır. Yapı endüstrisi için düşünecek olursak yapı malzemesi üreticileri YDD verilerine bakarak üretim süreçlerini gözden geçirebilir ve daha çevreci alternatifler oluşturabilirler. Benzer şekilde mimar ve mühendisler de bina üretiminde çevreye en az zarar verecek alternatifini YDD yöntemi ile değerlendirebilmektedirler. Bu sayede yapıyı en uzun süre kullanımda tutacak şekilde tasarlamak yeni yapı ihtiyacını ve dolayısı ile yeni hammadde çıkarılması ihtiyacını azaltacaktır. Benzer şekilde yapının yaşam döngüsü tasarlanırken geri dönüştürülmüş malzemelerden ya da gelecekte geri dönüştürülebilecek malzemelerden yararlanılırsa yine malzemelerin uzun süre döngüde kalması sağlanabilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü süreci ve çevre ile ilişkisi (Tuna Taygun, 2005)

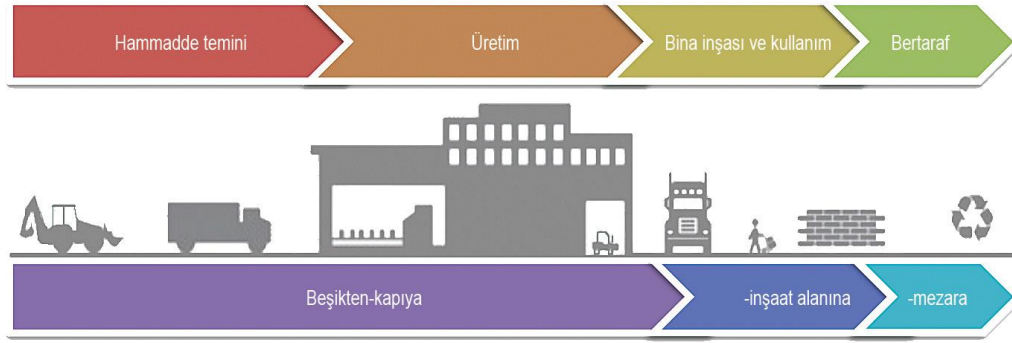
2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Tanımı

Yapının yaşamının döngüsel bir eylem olarak tarif edilmesi sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Yapı bir ürün olarak düşünülürse, bu ürünü üretip, kullanıp atmak yerine, yapı bileşenlerini tekrar kullanarak ya da uygun nitelikteki malzemeleri geri dönüştürerek tekrar yaşam döngüsüne katılmasını sağlamak bu döngüyü tamamlar. Yapının yaşam döngüsü, bileşenlerini oluşturacak malzemelerin kaynaktan çıkarılması ile başlar, belirli bir süre kullanımda kalır (ortalama 50-60 yıl), yaşamın sonu aşaması (end of life stage) olarak tanımlanan kullanım ömrünün bitmesiyle de geri dönüşüm evresi sözkonusu olur (Şekil 2.5).



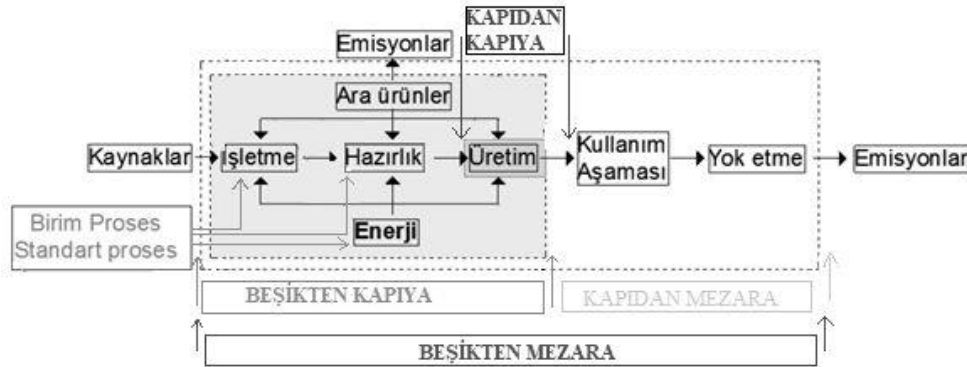
Şekil 2.5. Sürdürülebilir yapının yaşam döngüsü (Kim ve Rigdon 1998; Özçuhadar 2007)

Türkçe literatürde “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)” ya da “Yaşam Döngüsü Analizi” şeklinde ifade edilen bu yöntem yabancı kaynaklarda “Life Cycle Assessment (LCA)” olarak geçmektedir. “YDD, bir ürünün, üretimi için kullanılan ham maddelerin tedarikinden, kullanımı, kullanım ömrü sonunda işlenmesi, geri dönüşümü ve nihai bertarafına kadar hayatı boyunca (beşikten mezara), çevresel boyutlarını ve muhtemel çevresel etkilerini (kaynakların kullanımı ve salınımların çevresel sonuçları gibi) incelemektedir.”(TS EN ISO 14040).



Şekil 2.6. Yaşam döngüsü süreci (ETKB, 2016)

Yaşam Döngüsü kavramı bir ürün veya hizmetin “beşikten mezara” kadar takip edilmesini ifade etmektedir. Yabancı literatürde “cradle-to-grave” şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 2.6). Hammadde elde edilmesine “beşik”, ürünün kullanımının son bulmasına “mezar”, hammadde elde edilmesinden fabrikaya iletiği aşamaya “kapı” denilmektedir. Bir ürün ya da işlemin tüm yaşam döngülerini kapsayan YDD’ye “beşikten mezara”; hammadde çıkartılmasından fabrikaya iletilmesine kadar olana “beşikten kapıya”; atıkların geri kazanımı söz konusu ise “beşikten beşiğe”; bir ürün ya da prosesin sadece üretim aşaması söz konusu ise “kapıdan kapıya” olarak isimlendirilmektedir (Benli Yıldız, 2017). Şekil 2.7’de YDD süreci şematik olarak ifade edilmiştir.



Şekil 2.7. YDD Süreci (Benli Yıldız, 2017)

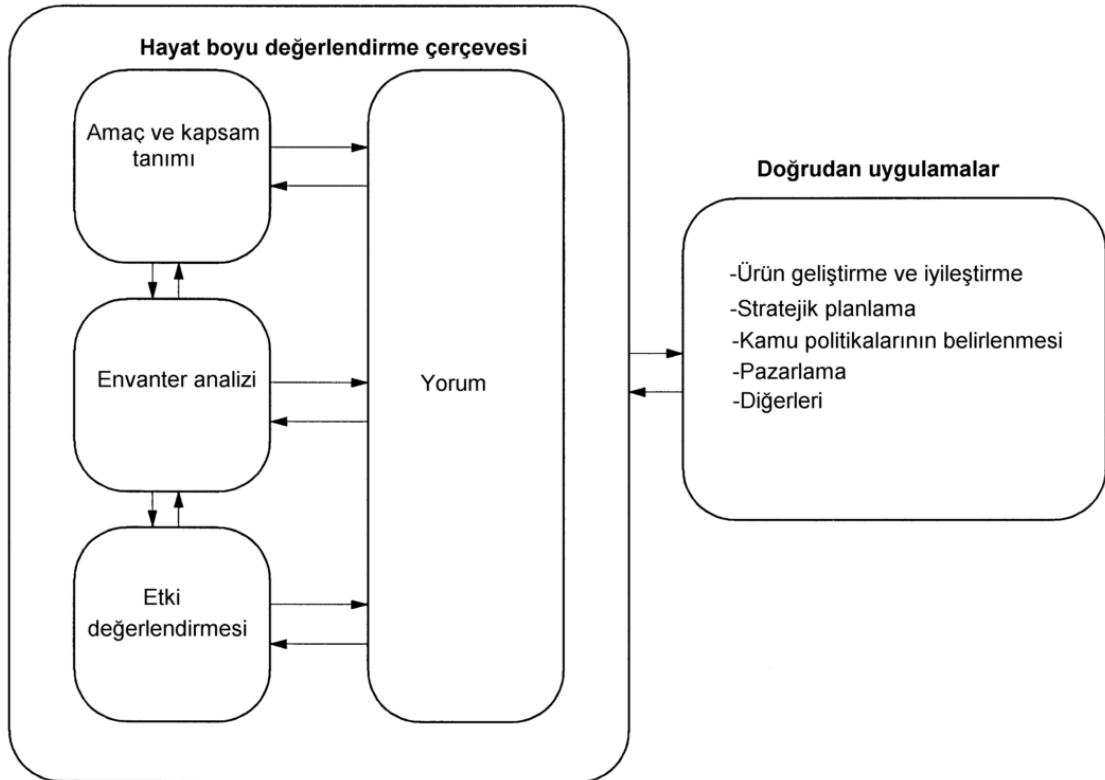
“1990’lı yıllarda başlayan YDD çalışmaları dünyada hızla gelişirken Türkiye’deki gelişim daha yavaş olmuştur. 2000’li yılların başında birkaç akademik çalışma ile sınırlı olan YDD çalışmaları, danışmanlık firmalarının konuya önem

vermesiyle 2009 yılından itibaren uygulamalı olarak verilen YDD eğitimleri başlamış ve bu sayede birçok sanayici, akademisyen, yüksek lisans ve doktora öğrencisi YDD konusunda bilgilendirilmiştir” (ETKB, 2016).

“İnşaat sektörü, yapılan YDD çalışmaları açısından kimya ve tekstil sektörlerinin önünde yer alan aktif bir sektördür. İnşaat sektöründe YDD çalışmalarının yoğunlaşması çevresel ürün beyanı (EPD) belgelerine olan ilgiden dolayıdır. Uluslararası yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin son zamanlarda bina boyutunda YDD çalışması talep etmesi ve yapı ürünlerinde çevresel ürün beyanı belgelerini mecburi kılması bu ilgiyi daha da arttıracaktır” (ETKB, 2016).

2.3. YDD Metodolojisi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki analizi ve yorumlama şeklindedir (Şekil 2.8). Yorumlama aşamasından sonra değerlendirme tekrarlanarak daha sürdürülebilir çözümler üretmek mümkün olmaktadır.



Şekil 2.8. Yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi (TS EN ISO 14040)

Amaç ve Kapsam : Çalışmanın amacı, kapsamı, sınırları ve detaylandırma düzeyi tanımlanır. Çalışmanın amacı YDD'nin ne sebeple yapıldığını açıkça ifade etmelidir. Bina seviyesinde YDD pek çok amaçla yapılabilir. Bunlar aşağıda belirtilmiştir :

- Karar verme işlemi için yardım, örneğin:
 - Farklı tasarım seçeneklerinin çevresel performanslarının karşılaştırılması
 - Yenileme, rekonstrüksiyon ve/veya yeni inşaatın çevresel performanslarının karşılaştırılması
 - Çevresel performansın iyileştirilmesi için sahip olunan potansiyelin tarifi
- Yasal gereklere atıf yapılarak performansın beyan edilmesi
- Aşağıdaki örneklerde olduğu gibi bir binanın kullanımı için çevresel performansının yazılı hale getirilmesi:
 - Belgelendirme
 - Çevresel performansın beyanı
 - Etiketleme
 - Piyasaya sunma
- Politika geliştirilmesi için destek (TS EN 15978, 2012)

Envanter Analizi : Çalışılan sistemin kapsamı dâhilinde gerçekleşecek enerji, su, hammadde kullanımı ve bunlara bağlı olan çevresel emisyonların belirlendiği aşamadır. Bu bölümde toplanan veriler kalite standartları gereği veri setleri için son 10 yıl içinde, üreticilerin spesifik verileri için son 5 yıl içinde toplanmış olmalıdır. Çalışmanın amacına göre verilerin coğrafi alan temsili olmalıdır ve kapsam içinde kalan verilerin tamamı sağlanmalıdır (Gervasio & Dimova, 2018).

Etki Analizi: Bir önceki aşamada tespit edilen enerji, su, hammadde kullanımı ile çevresel emisyonların insan sağlığı ve çevre üzerindeki olası etkileri değerlendirilir. Çizelge 2.2'de çeşitli emisyonların olumsuz sonuçları belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Çevresel etkiler ve olumsuz sonuçları (Canan ve Bakır, 2008)

Sistemin çıktısı/ emisyonlar	Oluşan etki	Etkinin olumsuz sonuçlarının sınıflandırılması
CO2 CH4 N2O CFC	→ Sera etkisi (GWP)	Küresel ısınma Kg eşd. CO ₂
SO2 NOX NH3 HCL	→ Asidifikasyon (AP)	Asit yağmuru: Kg eşd. SO ₂
Pb Hg CO Partikül	→ İnsan zehirlenmesi	Havada Kg eşd. Pb (kurşun)

Bina ölçeğinde YDD için ISO standartlarında belirtilen çevresel etki göstergeleri ve bu etkilerin hangi birimlerle ölçüleceği belirtilmiştir (Çizelge 2.2). Bu çevresel etkiler; küresel ısınma, stratosferik ozon tabakasında incelme, toprak ve suyun asidifikasyonu, ötrofikasyon, troposferik ozonun artışı ve kaynakların tükenme potansiyelidir.

Çizelge 2.2. Çevresel etkilerin analizi ve karakterinin belirlenmesi (TS EN 15978, 2012)

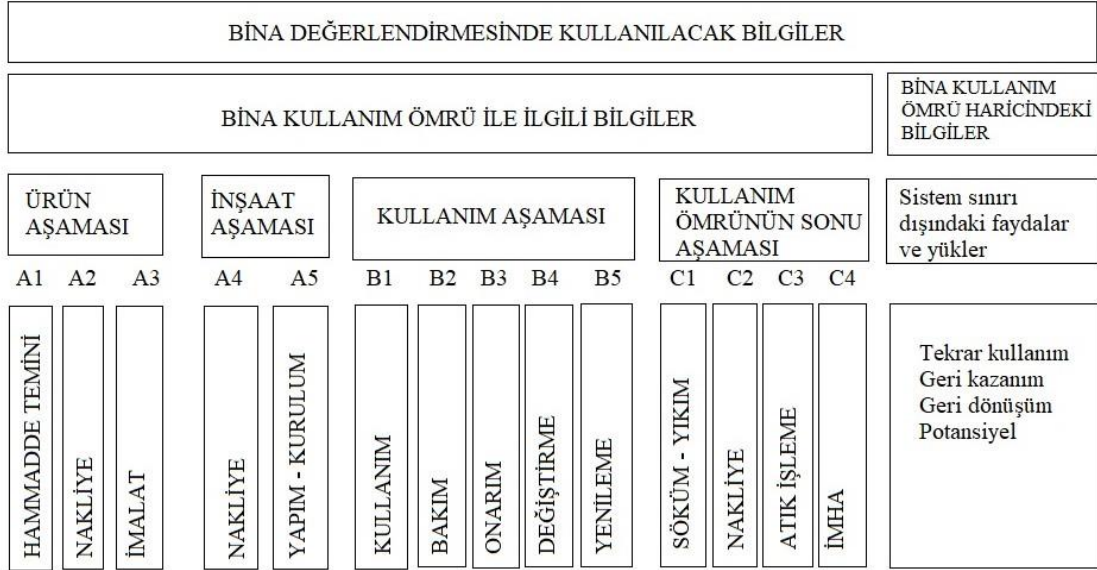
Gösterge	Birim
Küresel ısınma potansiyeli, GWP	kg CO ₂ eş değeri
Stratosferik ozon tabakasının azalma potansiyeli, ODP	kg CFC 11 eş değeri
Toprağın ve suyun asitleşme potansiyeli, AP	kg SO ₂ eş değeri
Ötrafikasyon potansiyeli, EP	kg (PO ₄) ³⁻ eş değeri
Troposferik ozon fotokimyasal oksidanların oluşma potansiyeli, POCP	Kg Eten eş değeri
Elementler için abiyotik kaynak azalma potansiyeli	Kg Sb eş değeri
Fosil yakıtlarının abiyotik kaynak azalma potansiyeli	MJ, net kalorifik değer

Yorumlama; Envanter ve etki analizi aşamalarının sonuçları değerlendirilir. İki ya da daha fazla YDD arasında karşılaştırma suretiyle çevreye verdiği yük açısından daha az olan ürün, süreç ya da hizmet seçilebilir. Bu seçim esnasında elde edilen verinin kalitesi, tahmin yapılması gerektiyse ya da var olan belirsizliklerin net olarak açıklanması gerekmektedir (TS EN ISO 14040). Yorumlama evresinde yapılan çıkarımlar sonucunda hangi safhada (hammadde temini, üretim veya kullanım gibi) gerçekleştirilecek değişiklikler ile çevresel performansın iyileştirilebileceği ortaya konarak çalışma sonlandırılır (Alkaya, 2012).

2.4. Bina Ölçeğinde YDD

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, ürün ölçeğinde ya da bina ölçeğinde yapılabilmektedir. Ürün ölçeğinde yapılan çalışmalar hammaddenin çıkarılması, fabrikaya nakledilmesi, burada çeşitli işlemlere girip ürüne dönüşmesini ifade eder. Bu süreçte cevher çıkarılırken çalışan makinaların tükettiği fosil yakıtlar, nakliye aşamasında tüketilen fosil yakıtlar, fabrikadaki işlemler için harcanan elektrik, ürüne eklenen yardımcı maddeler ve yine bu prosesler sırasında ortaya çıkabilecek kimyasal salınımlar hesaba katılır.

Bina seviyesinde yaşam döngüsü değerlendirmesi için yayınlanmış ISO'nun 15978 numaralı "Yapılarda sürdürülebilirlik - Binaların çevresel performansının değerlendirilmesi - Hesaplama yöntemi" isimli standardı kullanılır. Şekil 2.9'da bu standartta belirtilen aşamalar gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Binalar için yaşam döngüsü modülleri (TS EN 15978: 2012-04)

Bina ölçeğinde yaşam döngüsü değerlendirmesi, A, B, C ve D olmak üzere dört ana modülden meydana gelir. 15978 nolu standartta göre belirlenmiş olan bu modüllerin içerdiği işlemler şu şekildedir :

A MODÜLÜ : Ürün aşaması (A1-A3) ve inşaat aşamasının (A4-A5) toplamını ifade eder. Hammadde çıkarılması, yapı malzemesinin üretimi ve detaylarıyla tüm şantiye işlerini kapsar.

A1- Hammaddenin kaynaktan çıkarılması ve ikincil maddenin girişi işlemlerini içerir.

A2- Hammadde ya da ikincil maddenin üreticiye ulaştırılması,

A3-İnşaat malzemesinin üretimi ve beşikten kapıya olan bütün süreçler

A4- Malzemelerin ve mamullerin fabrikadan bina sahasına taşınması; taşıma, geçici depolama ve dağıtım dâhil. Ayrıca imalat ekipmanının (krenler, kalıplar vs.) bina sahasına veya bina sahasından başka alanlara taşınmasını da içermelidir.

A5-İnşaat aşamasını ifade eder. Zeminle ilgili işler, ürünlerin depolanması, ısıtma ve soğutma, sahada yapılan imalatlar ve bu imalatlar boyunca gereken ısıtma, soğutma vb. işlemleri içerir. Ayrıca imalat makinelerinde ya da saha temizliğinde kullanılan su, imalat sırasında ortaya çıkan atıklar ve bu atıkların yönetimi de bu sürece dahildir.

B MODÜLÜ : Kullanım aşaması yapım işlerinin tamamlanmasından binanın yıkılacağı zamana kadar süren periyodu kapsar. Yapı malzemelerinin depolanması, ısıtma, soğutma, aydınlatma, su kullanımı, taşıma, temizlik, makinelerin değiştirilmesi gibi bakım senaryoları bu sürece dahildir.

B1- Binanın kullanımı

B2- Binanın bakımı aşamasını içeren işlemler aşağıdadır :

- Bakım için kullanılan bileşenlerin ve yardımcı ürünlerin üretimi ve taşınması.
- Binanın dışında ve içinde yapılan tüm temizlik işlemleri.
- Binanın ve bina ile ilişkili teknik sistemin fonksiyonel ve teknik bakımları ile

binanın dış ve iç bileşenlerinin estetik kaliteleri için yapılacak tüm işlemler;

Örnek : Pencere çerçevelerinin, kapıların vs. boyanması, sistemindeki filtrelerin değiştirilmesi.

B3- Binanın tamir edilmesi safhasını içeren işlemler aşağıda belirtilmiştir :

- Bileşenin tamir edilecek parçasının ve yardımcı ürünlerinin üretimi.
- Bileşenin tamir edilecek parçasının ve yardımcı ürünlerin taşınması, üretim etkileri ve taşıma süresinde malzeme kayıplarının nitelikleri.
- Bileşenin tamir edilecek parçasının ve yardımcı ürünlerin tamir edilmesi işlemleri.
- Bileşenin sökülen parçasının ve yardımcı ürünlerin atıklarının yönetimi.
- Bileşenin sökülen parçasının ve yardımcı ürünlerin kullanım safhalarının sona ermesi.

Örnek : Kırık cam yüzeye sahip bir pencere için bu, cam yüzeyden kalan atıkları, yeni camın üretilmesi ve taşınmasını ve tamir işleminden kaynaklanan tüm etkileri kapsar.

B4- Binada kullanım ömrünü tamamlayan elemanların değiştirilmesi aşamasıdır. Aşağıdaki işlemleri içerir :

- Bileşenin değiştirilecek parçasının ve yardımcı ürünlerin üretimi.
- Bileşenin değiştirilecek parçasının ve yardımcı mamullerin taşınması, imalat etkileri ve taşıma süresinde malzeme kayıplarının nitelikleri.
- Bileşenin değiştirilecek parçasının ve yardımcı ürünlerin değiştirilme işlemleri.
- Bileşenin sökülen parçasının ve yardımcı ürünlerin atıklarının yönetimi.
- Bileşenin sökülen parçasının ve yardımcı ürünlerin kullanım safhalarının sona ermesi.

Örnek : Çatı kirişlerinin değiştirilmesi, bir bölücü duvarın değiştirilmesi, bir pencerenin (cam, çerçeve) değiştirilmesi vs.

B5- Ürünün yenilenmesi,

- Yeni bina parçasının üretimi.
- Yeni bina parçasının taşınması
- Yenileme işleminin bir parçası olarak yapım
- Yenileme işlemindeki atıklarının yönetimi.
- Değiştirilen bina bileşenin kullanım aşamasının sona ermesi.

Örnek : Yapı planının değiştirilmesi, ısıtma, soğutma veya havalandırma teknik sistemlerinin değişmesi, planlanmış veya muhtemel kullanım değişimleri için modifikasyonlar.

B6- Binanın kullanım aşamasında tüketilen enerjiyi (operasyonel enerji) ifade eder. Binanın enerji performansı, binanın tanımlanan kullanıcılarının farklı ihtiyaçlarını karşılamak üzere kullanılan, hesaplama ile elde edilen veya gerçek enerjiye dayalı olarak aşağıdakilere göre tespit edilir:

- Isıtma,
- Evsel sıcak su temini,
- İklimlendirme
- Havalandırma,
- Aydınlatma,
- Pompalar, kontrol ve otomasyon sistemleri tarafından kullanılan ilave enerji.

Binanın teknik ve fonksiyonel performansı için gerekli olan, binayla bütünleşik diğer teknik sistemlerin enerji kullanımı (örneğin asansörler, yürüyen merdivenler, emniyet ve güvenlik yapıları ve iletişim sistemleri) da bu bölüme dahil edilir.

B7- Kullanım aşamasında tüketilen su aşağıda sayılanlara benzer işlemler için işletme sırasında binaya ait olan binayla bütünleşik su sisteminin işlemlerinin tümünü kapsamalıdır:

- İçme suyu,
- Sağlığın korunması için kullanılan su,
- Evsel sıcak su,
- İlgili arazilerin, yeşil çatıların ve yeşillik bulunan duvarların sulanması,
- Isıtma, soğutma, havalandırma ve nemlendirme için kullanılan su,
- Suyun binayla bütünleşik sistemleri (çeşmeler, yüzme havuzları, saunalar)

tarafından özel şekilde kullanılan su.

Bina ile bütünleşik olmayan aletler (bulaşık makinesi, çamaşır makinesi gibi) tarafından kullanılan su değerlendirmeye dâhil edilecekse; bu rapor edilmeli ve ayrı olarak bahsedilmelidir.

C MODÜLÜ : Yaşam sonu aşamasını ifade eder. Bir binanın kullanımı , binanın hizmetini tamamladığı ve herhangi bir şekilde kullanılması amaçlanmadığında sona erer. Bu noktada, binanın yıkımı/sökülmesi; atılacak, geri dönüştürülecek veya tekrar kullanılacak olan malzemelerin, ürünler ve bina elemanları için bir kaynak olacak şekle gelmesi için geçeceği çoklu işlemler olarak değerlendirilebilir.

Binaların aşağıdaki durumlarda kullanım ömrünü tamamladıkları varsayılır:

- Bina sahasından temizlenecek tüm bileşenler ve malzemelerin kaldırılması halinde,
- Saha, sonraki kullanımlar için hazır hale getirildiğinde (yeni aktiviteler için hazır olduğunda).

C1- Binanın yıkılması, binanın hizmetine son verilmesinden sonra yapı söküm işlemleri için gerekli olan sahada yapılanlar ve saha dışındaki geçici işlerde gerçekleştirilen işlemler ile sahadaki yıkım ve söküm işlemlerini kapsar.

C2- Atık işlemlerinin yapıldığı toplama alanlarına ulaşım, atıkların taşınmasından atıkların yok edilmesi ve/veya atıklar için yapılacak işlemlerin sonuna kadarki süreyi kapsar. Bu sınır, atıkların muhtemel depolama/işleme yerlerine ve bu yerlerden taşınmasını içine alır.

C3- Yeniden kullanma ve geri dönüşüm için atık işleme sürecini ifade eder. Binanın kullanım süresinin sona ermesiyle, yapının söküm ve yıkımından; bakım, onarım ve değiştirme veya yenileme işlemlerinden çıkan tüm hurdalar, tüm yapı ürünleri, malzemeler ve yapı elemanları öncelikle atık olarak değerlendirilir. Aşağıda belirtilen şartlarla uyumlu olduğunda; bu çıktılar geri kazanılır.

- Geri kazanılan malzeme, ürün veya yapı elemanının belirli amaçlar için yaygın şekilde kullanılması,
- Geri kazanılan malzeme, ürün veya yapı elemanı için pozitif bir ekonomik değer olarak ortaya çıkan bir piyasa veya talep mevcut olduğunda,
- Geri kazanılan malzeme, ürün veya yapı elemanı belirli amaçlara yönelik teknik gerekleri karşıladığında ve ürünün tabi olduğu mevcut şartnamelere ve standartlara uygun olduğunda,

- Geri kazanılan malzeme, ürün veya yapı elemanının kullanılması çevre veya insan sağlığı üzerinde olumsuz etki oluşturmayacaktır.

C4- Son atıkların imha edilmesini ifade eder. Modül C4'te atıkların imhasından kaynaklanan çevresel yükler hesap edilir (Nötralizasyon, enerji kullanılarak veya kullanılmaksızın gerçekleştirilen yakma işlemleri, çöp gazlarının kullanıldığı veya kullanılmadığı durumda atıkların gömülmesi vs.)

Kullanım ömrünün sona erdiği dönemde yapılan atıkların gömülmesi gibi bazı işlemler için, değerlendirme periyodu süresinden sonra emisyonlar ortaya çıkabilir. Kural olarak, 100 yıllık bir periyodik süre bu tip uzun dönem işlemler için uygun olarak görülür.

D MODÜLÜ: Yeniden kullanım, iyileştirme ve geri dönüşüm potansiyelinin etkileri ve faydalarının değerlendirilmesini ifade eder.

Tekrar kullanılacak bileşenler ile geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı için kullanılan malzemeler, daha sonra kullanılacak potansiyel kaynaklar olarak ele alınır. Modül D'de; net malzeme akışından ortaya çıkan tekrar kullanım, geri dönüşüm ve enerji kullanımından elde edilen net çevresel faydalar ve yükler ve sistem dışına çıkan dışarıdan temin edilen enerji hesaba katılır. Çizelge 2.3'te bazı geri dönüştürülebilen yapı malzemeleri ve bu malzemelerin kullanım alanları yer almaktadır.

Çizelge 2.3. Bazı malzemelerin geri dönüşüm teknolojileri ve geri dönüştürüldükten sonraki kullanım alanları (Çakır, 2012)

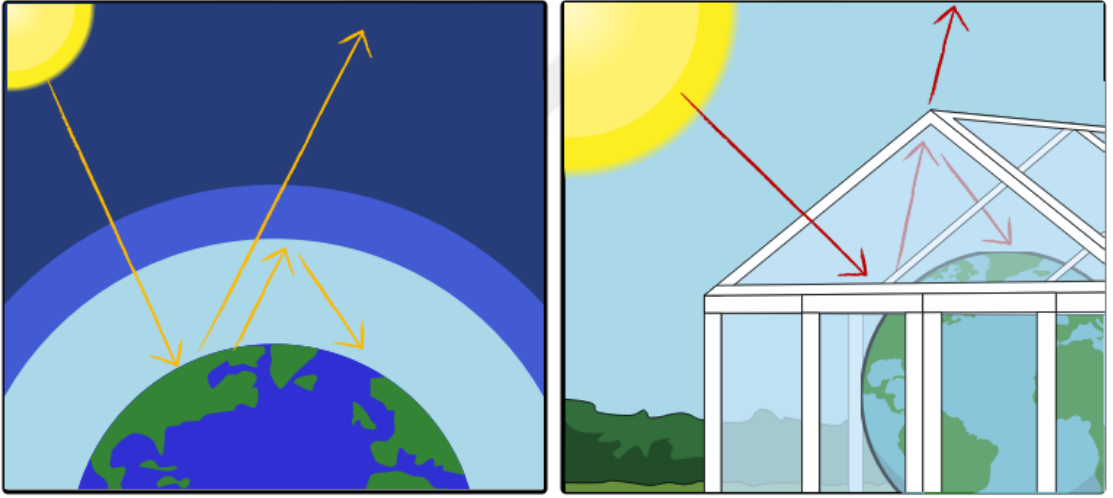
Malzemeler	Geri Dönüşüm Teknolojisi	Geri Dönüştürülmüş Ürün
Asfalt	<ul style="list-style-type: none"> - Soğuk Geri Dönüşüm - Isı Üretimi - Minnesota Üretim - Paralel Silindir Üretim - Uzatılmış Silindir Üretim - Mikrodalga Asfalt Geri Dönüşüm Sistemi - Finfalt - Yüzey Yenileme 	<ul style="list-style-type: none"> - Geri Dönüştürülmüş Asfalt - Asfalt Agrega

Tuğla	- Yakıp Kül (Ash) Haline Getirme - Agrega Haline Getirmek İçin Kırma	- Balçık Kül - Dolgu Malzemesi - Hardcore
Beton	- Agrega Haline Getirmek İçin Kırma	- Geri Dönüştürülmüş Agrega - Yeni Beton Yapımında Kullanma - Nehir Seti - Dolgu Malzemesi
Demir İçeren Metaller	- Eritmek - Doğrudan Yeniden Kullanma	- Gri Dönüştürülmüş Çelik Parçaları
Cam	- Doğrudan Yeniden Kullanma - Öğüterek Toz Haline Getirme - Cilalama - Kırıp Agregaya Katma - Yakıp Kül (Ash) Haline Getirme	- Geri Dönüştürülmüş Pencere Ünitesi - Cam Elyafı - Dolgu Malzemesi - Seramik - Kaldırım Taşı - Asfalt - Geri Dönüştürülmüş Agrega - Çimento Yerine Sentetik Toprak
Taş	- Agrega Haline Getirmek İçin Kırma - Kül (Ash) Haline Getirmek İçin 900 C Ye Isıtma	- Isı Yalıtım Betonu - Geleneksel Çamur Tuğla - Sodyum Silikat Tuğla
Demir İçermeyen Metaller	- Eritmek	- Geri Dönüştürülmüş Metal
Kağıt/Karton	- Temizleme	- Geri Dönüştürülmüş Kağıt
Plastik	- Kriyojenik Öğütme İle Toza Dönüştürme - Kırpma, Kesme - Agrega Haline Getirmek İçin Kırma - Yakıp Kül (Ash) Haline Getirme	- Panel - Geri Dönüştürülmüş Plastik - Plastik Kereste - Geri Dönüştürülmüş Agrega - Alan Doldurma Drenajı - Asfalt - Sentetik Toprak
Ahşap	- Doğrudan Yeniden Kullanma - Agregaya Karıştırma - Maden Eritme Ocağında Oksijenini Çıkarma - Gazlaştırma Ve Isıl İşlem - Yüksek Su Buharı Altında Şekil Verme	- Tek Parça Ahşap - Mobilya Ve Mutfak Malzemeleri - Hafif Geri Dönüştürülmüş Agrega - Enerji Kaynağı - Kimyasal Üretim - Ahşap Kaynaklı Panel - Plastik Kereste - Geofiber - İzolasyon Levhası

2.5. Gömülü Karbon

Gömülü karbon kavramını anlamak için öncelikle sera gazlarından bahsetmek gerekir. Sera gazları, atmosferdeki ısıyı emen ve geri yansıtan gazlardır. Sera gazlarının bu davranışı dünyamızın atmosferini olması gerekenden daha sıcak tutar. Bu da sera etkisine yani küresel ısınmaya yol açar (Şekil 2.10). Küresel ısınmanın doğal bir sonucu olarak da iklim değişiklikleri meydana gelmektedir.

Sera gazları salınımının sınırlanması ile alakalı uluslararası bir sözleşme olan Kyoto protokolünde belirtilen başlıca sera gazları; karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), nitrozoksit (N_2O), hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perfluorokarbonlar (PFC'ler), kükürtheksaflorür (SF_6) dür (BM, 1998). Kyoto protokolüne ülkemiz 2009 yılında taraf olarak karbondioksit ve diğer sera gazlarının salınımını azaltmak yönünde önemli bir adım atmıştır.



Şekil 2.10. Sera Etkisi (<https://www.storyboardthat.com/tr/storyboards/tr-examples/sera-etkisi>)

Küresel ısınma potansiyeli, yabancı literatürde “Global Warming Potential (GWP)” olarak geçer ve sera gazlarının atmosferde 100 yıllık sürede neden olduğu ısınma miktarını gösterir. Karbondioksitin küresel ısınma potansiyel değeri 1 kabul edilir ve diğer gazların değerleri karbondioksitin neden olduğu ısınma miktarı ile kıyaslanır. Örneğin metan gazının küresel ısınma potansiyeli karbondioksitten 25 kat daha fazladır (Brander, 2012).

Çizelge 2.4. Sera gazlarının küresel ısınma potansiyelleri (<http://www.icsusa.org/>)

Sera Gazı	Atmosferde ortalama kalma süresi	1 molekül gazın küresel ısınma potansiyeli (100 yıllık süre için)
Karbondioksit	50-200 yıl	1
Metan	12 yıl	21
Nitröz Oksit	120 yıl	310
CFC-12	100 yıl	10600
CFC-11	45 yıl	4600
HFC-134a	14.6 yıl	1300
Kükürt Heksaflorür	3200 yıl	23900

İnsan faaliyetleri tarafından atmosfere salınan en yaygın gaz karbondioksittir. Bunun bir sonucu olarak bazen tüm sera gazlarının etkilerini ifade ederken de karbondioksit terimi kullanılır fakat bu literatürde karışıklıklara sebep olmaktadır. Bunun için bilim insanları diğer sera gazlarının da etkilerini ifade etmek için “CO_{2e} (carbon dioxide equivalent)” yani “karbondioksit eşdeğeri” birimini oluşturmuşlardır. Kısaca “CO_{2e}” bir bölgedeki farklı sera gazlarını tanımlamak için kullanılan ortak bir birimdir. Bir miktar sera gazı miktarı o gazın “GWP” değeri ile çarpılarak CO_{2e} olarak ifade edilebilir. Örneğin, 1 kilo metan yayılırsa bu 25 kilo CO_{2e} olarak ifade edilebilir (Brander, 2012).

“Karbon” terimi sera gazı emisyonlarından bahsederken çeşitli şekillerde kullanılır ve bu sebeple belirsiz ve kafa karıştırıcı olabilir. “Karbon” bazen karbondioksit için, bazen de diğer sera gazlarını kısaca ifade etmek için kullanılmaktadır. Mimaride de “sıfır karbon mimarisi”, “düşük karbon mimarlığı” şeklinde popüler terimler de küresel ısınma potansiyelini ifade etmek için kullanılmaktadır.

Gömülü karbon, bir malzemenin karbon ayak izini ifade eder. Malzemenin üretim süreci boyunca doğaya ne kadar sera gazı salındığının ölçüsüdür; inşaat veya imalatın karbon maliyeti olarak tanımlanır. Ürünün fabrikadan ayrılmadan önceki

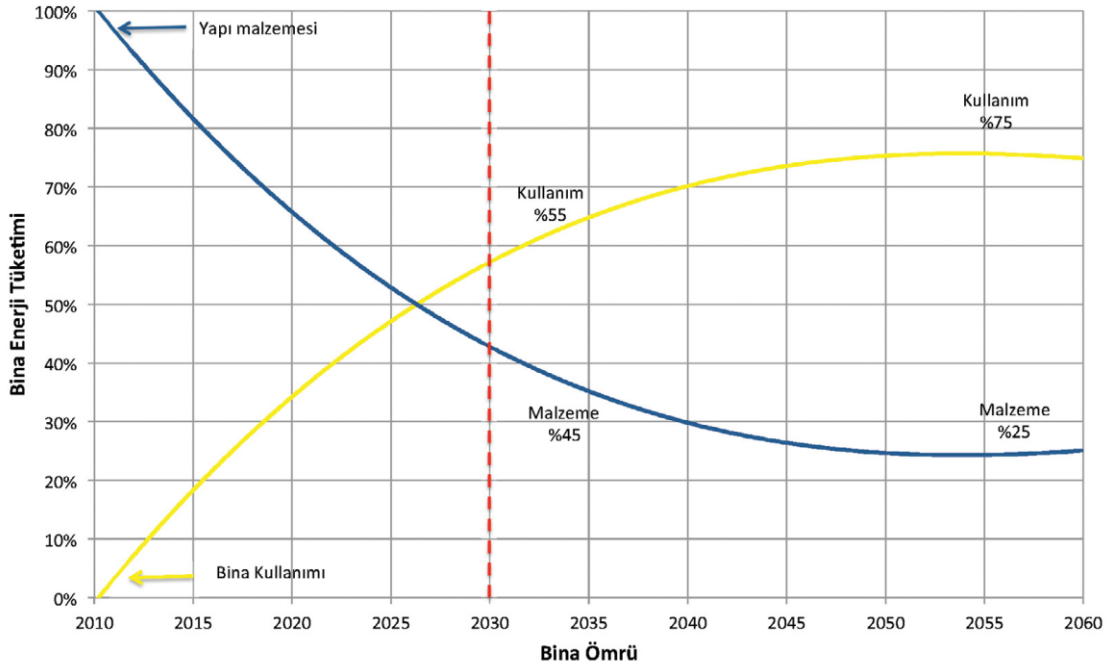
hammadde çıkarımı, üretimi, nakliyesi ve üretim prosesleri dahil olmak üzere ürün veya hizmetlerle ilişkili doğrudan ve dolaylı süreçlerden salınan karbon dioksit ve diğer sera gazlarının toplamı anlamına gelir (Yıldırım, 2018). Genellikle “beşikten kapıya” ölçümü yapılırsa da “beşikten mezara” malzemenin tüm yaşam evreleri de incelenebilmektedir.

2.6. Gömülü Enerji

Türkçe literatürde “gömülü enerji” şeklinde geçen kavram yabancı kaynaklarda “embodied energy” olarak ifade edilmektedir. Bir ürünün üretimi için gereken hammaddenin çıkarılmasıyla başlayıp, üretim mekanına nakledilmesi, depolanması, kullanım yerine ulaştırılması, uygulanması ve bakımının yapılması sürecinde harcanan toplam enerji miktarını ifade eder (Fay v.d., 2000).

Konuya yapı üretimi ölçeğinden bakarsak, yapı malzemelerinin çıkarılması, üretimi, nakliyesi v.b. süreçlerinde harcanan enerjilerin toplamını ifade eden gömülü enerji miktarı düştükçe olumsuz çevresel etkiler azalmaktadır. Gömülü enerjisi düşük malzemeleri kullanmak çevresel etkileri en aza indirgenmiş yapılar üretmede oldukça önemlidir.

Yapı malzemelerinin bina yapım evresine gelene kadar tükettiği enerjinin yaşam döngüsü boyunca tüketilen enerjinin % 10’u ile % 30’u arasında değişebileceği gözlemlenmiştir (Guan v.d., 2015). Bu oran aslında bina ömrü 50-60 yıl olarak kabul edildiğinde geçerlidir (YDD çalışmalarında 50-60 yıl yaygın olarak seçilmektedir). Fakat Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde yenilenen yapı teknolojileri, arsa değerlerindeki büyük artışlar gibi etmenler bina ömrünü kısaltmaktadır. Bina ömrünün ortalama değerlerden daha kısa olması da malzemedeki kaynaklı etkilerin neredeyse kullanım sürecinde oluşacak etkiler kadar önem arz etmesine sebep olur (ETKB, 2016). Aşağıdaki grafikte 2010 yılında inşa edilen bir yapının 50 yıllık bir süre içinde (2060 yılına kadar) tükettiği enerjinin malzeme ve yapı işletim sürecinde kullanılan enerji bağlamında oransal karşılaştırılması yer almaktadır.



Şekil 2.11. Yapılarda kullanım oranlarına göre yapı malzemeleri gömülü enerjisinin karşılaştırılması (ETKB, 2016)

Şekil 2.11'deki grafikten de anlaşıldığı üzere yapının kullanılmaya başlamasından sonra yaklaşık 16. yılda tükettiği enerji malzeme kaynaklı gömülü enerjisi ile neredeyse aynı oranı yakalamaktadır. Bu sebeple sürdürülebilir bina üretimi için yapının kullanım öncesi evresi de düşük karbonlu olmalıdır. Özellikle Türkiye gibi bina ortalama ömrünün standart değerlerden düşük olduğu ülkelerde malzemelerin sürdürülebilirliği önemini daha da arttırmaktadır (ETKB, 2016).

Yapıların gömülü enerjilerini azaltmak için malzeme seçiminde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir;

-Yapı malzemelerinin dayanıklılığı (böylece yapının kullanım ömrü boyunca yenisi ile değiştirilmesi gerekmeyecek ve yeni bir gömülü enerji sarfiyatı olmayacaktır.)

- Yerel malzeme kullanımı (malzeme üretiminde nakliye kaynaklı salınımlar azalacaktır.)

- Geri dönüşümlü malzeme kullanımı. İçinde geri dönüştürülmüş malzeme katkıları olan malzemelerin gömülü enerjileri daha düşüktür. Dolayısı ile yapıda bu malzemeleri tercih ederek toplam gömülü enerjiyi azaltmak mümkündür. Örneğin ICE veri setinde yer alan %59 oranında geri dönüştürülmüş malzemedan üretilen çeliğin

gömülü enerjisi 20 mj/kg iken %39 oranında geri dönüştürülmüş malzemeden üretilen çeliğin gömülü enerjisi 25 mj/kg'dır.

- Standart malzeme boyutlarını kullanarak özel üretim için gerekecek ekstra enerji israfından kaçınılabılır.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak üretilen malzemeleri kullanmak da gömülü enerjiyi azaltmaya yardım edecektir.

Çizelge 2.2. Çeşitli yapı malzemelerinin gömülü enerjileri (Chau v.d. 2015)

Yapı Malzemesi	Gömülü Enerji Değeri (Mj/kg)
Alüminyum	155,0-227,0
Bitüm ve asfalt	2,6-44,1
Tuğla ve Bloklar	0,9-4,6
Beton	0,50-1,6
Galvanizli Çelik	35,8-39
Cam	15,0-18,0
Taş, Çakıl ve Agrega	0,3-1,0
Uçucu Kül (PFA)	0,1<
Boya	20,0-81,5
Sıva, Şap	1,4-1,8
Plastik, Kauçuk ve Polimerler	67,5-116,0
Plywood	8,5-15,0
Prekast Beton Elemanlar	2,0
Çelik Donatı ve Yapısal Çelik	9,9-35,0
Paslanmaz Çelik	51,5-56,7
Termal ve Akustik Yalıtım Malzemeleri	3,0-45,0
Seramik ve Karolar	0,8-11,1

Çizelge 2.2' de çeşitli yapı malzemelerinin gömülü enerjileri verilmiştir. Tabloda en düşük değerlerin betonda olduğu gözlemlenmektedir ancak bu değerlere bakarak en çevreci yapı malzemesinin beton olduğunu söylemek yanlış bir çıkarım olur. Bunun sebebi betonun yapıda kullanılan miktarının ağırlıkça fazla olmasıdır.

2.7. YDD Ölçme Araçları

YDD hesaplamaları farklı ülkelerde geliştirilmiş çeşitli yazılımlarla yapılabilmektedir. Ancak yazılımlar ve veri tabanlarındaki değerler sabit değildir, lokasyona göre değişen enerji tüketiminden kaynaklı değerlerde bir takım farklar bulunmaktadır. Bazı araştırmalarda tek bir program seçilip kullanılmasına karşın bazılarında değerlerin ortalaması alınarak çalışma gerçekleştirilmiştir.

Yaşam döngüsü değerlendirmesinde en büyük zorluk veri setlerinin yeterince detaylı ve geniş bir ürün yelpazesini içermemesidir. Yapı malzemeleri piyasasında binlerce ürün çeşidi bulunmakta ve farklı biçimlerde üretilen bu ürünlerin her birinin çevresel performans değerleri eksiksiz elde edilmemiştir. Malzeme üreticileri son yıllarda ürünlerinin sürdürülebilirliğini belgelemek için EPD'ler (environmental product declaration) oluşturmaktadırlar. Bu belgeler ürünlerin çevresel performans verilerini içerir. EPD'ler çoğaldıkça YDD veri tabanlarındaki bilgiler de zenginleşecektir ve daha doğru sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır.

Malzemelerin gömülü enerjilerinin açık erişimli yayınlanmış olarak bulunması günümüzde malesef zordur (Roaf v.d., 2001). Genellikle ticari amaçlar doğrultusunda üretilen bu veriler, ücretli bir takım yazılımlar aracılığıyla erişilebilen kaynaklardır. Sık kullanılan YDD araçlarından bazıları aşağıdaki gibidir:

Athena Impact Estimator : Kanada'da üretilmiş bir YDD hesaplama yazılımıdır. Kendine ait bir veri tabanını kullanarak hesaplama yapmaktadır. Açık erişimlidir.

Sima Pro : En sık kullanılan YDD hesaplama programlarından biridir. Yazılım ücretli ve veri tabanları açık erişimli değildir.

GaBi : Almanya'da üretilmiş, Sima Pro gibi sık kullanılan bir yazılımdır. Ücretli bir programdır. Çeşitli veri tabanları GaBi'ye bağlanarak hesaplamalar yapılabilmektedir.

ICE (The Inventory of Carbon and Energy): YDD için oluşturulmuş beşikten kapıya bir veri tabanıdır. İngiltere Bath Üniversitesinde geliştirilmiştir. Açık erişimlidir.

TurCoMDat : Türkiye’de üretimi yapılan yapı malzemelerinin çevresel performansını ortaya koyan bir veri tabanıdır. TurCoMDat’ın, web arayüzü kanalıyla sorgulanabilecek bir formatta da sunulması çalışmaları devam etmektedir. Bu veri seti Sürdürülebilir Üretim Ar-Ge ve Tasarım Merkezi (SÜRATAM) isimli özel bir işletme tarafından oluşturulmaktadır.

2.8. ICE Veri Tabanı

ICE, İngiltere Bath Üniversitesi’nde oluşturulmuş YDD esaslı bir veri tabanıdır. Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç, yapı malzemelerinin gömülü enerjileri ve gömülü karbon değerlerine ait bir envanter oluşturmak olmuştur. ICE veri tabanındaki veriler makalelerden, kitaplardan ve konferans metinlerinden derlenerek oluşturulmuştur. Toplam 34 adet yapı malzemesi grubu envanterde listelenmiştir (beton, boya, cam, yalıtım malzemeleri, plastikler vb.). Çalışma beşikten kapıya değerleri kapsamaktadır. Bu değerler ISO 14040’ta belirtilen yöntemlerle elde edilmiş verilerdir. Yayınlanmış veri tabanı toplanmış çok büyük miktardaki verilerin bir özeti niteliğindedir.

Envanter oluşturulurken her ne kadar pek çok veri kaynağından yararlanılmış olsa dahi belirli bir malzeme için tek bir değer belirlemek zordur. Bir malzeme için uluslararası ölçekte geçerli olan ortak bir gömülü enerji ve gömülü karbon değeri belirleyebilmek YDD’nin doğası gereği çok nadir görülen bir durumdur. Belirsizlik malesef gömülü enerji ve karbon analizinin bir parçasıdır ve en güvenilir çalışmalar bile bir miktar belirsizlik içerir. Buna karşın ICE veritabanından elde edilen sonuçların diğer veri tabanlarına oranla daha güçlü olduğu kanıtlanmıştır (Hammond ve Jones, 2008).

ICE veri tabanında başlıca yapı malzemelerinin gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri kilogram başına düşen birim değerler şeklinde listelenmiştir. Gömülü enerji “mj/kg” , gömülü karbon değeri “kgCO₂e/kg” birimleri ile belirtilmiştir (Şekil 2.13). İlk defa 2008 yılında yayınlanan veriler en son 2011 yılında güncellenmiştir. Günümüzde veri tabanının güncelleme çalışmaları devam etmektedir. Tez çalışmasında “ICE Version 2.0” envanteri kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.13’te ICE veri tabanında beton yapı malzemesi için hazırlanmış tablonun bir kısmı görülmektedir. Şekilde turuncu ile işaretlenmiş başlıklar, gömülü enerji ve

gömülü karbon birim değerlerinin ifade edildiği sütunları tanımlamaktadır. Bu başlıkların hemen altında çeşitli beton sınıfları ve bu sınıflara ait gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri kilogram bazında listelenmiştir. Örneğin “16/20 Mpa” şeklinde belirtilen beton sınıfının, gömülü karbon ve enerji değerleri hemen yanındaki sütunlarda “0.70 mJ/kg” ve “0.100 kgCO_{2e}/kg” olarak belirtilmiştir. Bu şekilde diğer yapı malzemelerinin beşikten kapıya değerleri de tablolar şeklinde ifade edilmiştir.

Material Profile: Concrete							
Embodied Energy (EE) ICE-Database Statistics - MJ/Kg							
Main Material	No. Records	Average EE	Std Deviation	Minimum EE	Maximum EE	Comments on the Database Statistics:	
Concrete	124	2.92	8.61	0.07	92.50	None	
Concrete, General	112	3.01	9.07	0.07	92.50		
Unspecified	85	2.12	2.85	0.07	23.90		
Virgin	27	8.02	18.24	0.59	92.50		
Concrete, Pre-Cast	12	2.18	0.78	1.20	3.80		
Unspecified	8	2.42	0.84	1.36	3.80		
Virgin	4	1.72	0.42	1.20	2.19		
Selected Embodied Energy & Carbon Coefficients and Associated Data							
Boundaries	Cradle to Gate		Data Range	(±/- 30%)		Specific Comments	
Material	Embodied Energy - MJ/Kg		Embodied Carbon - Kg CO _{2e} /Kg				
General Concrete	0.76		0.107		<p>It is strongly recommended to avoid selecting a general value for concrete. Selecting data for a specific concrete type (often a ready/mix concrete) will give greater accuracy, please see comments. Assumed cement content 12% by mass. Assumed use of weighted average UK cement.</p> <p>Using UK weighted average cement (more representative of typical concrete mixtures).</p>		
16/20 MPa	0.70		0.100				
20/25 MPa	0.74		0.107				
25/30 MPa	0.78		0.113				
28/35 MPa	0.82		0.120				
32/40 MPa	0.88		0.132				
40/50 MPa	1.00		0.151				
READY MIX CONCRETE (ICE CMC Model Results)							
BS 8500:2006 CONCRETE DESIGNATIONS							
Material	Embodied Energy - MJ/kg			Embodied Carbon - kgCO _{2e} /kg			NOTE: Cradle to Gate
FLY ASH							
% Cement Replacement - Fly Ash	0% (using CEM I)	15%	30%	0% (using CEM I)	15%	30%	Note 0% is a concrete using a CEM I cement
GEN 0 (6/8 MPa)	0.55	0.52	0.47	0.076	0.069	0.081	Compressive strength designation C6/8 MPa, 28 day compressive strength under British cube method of 8 MPa, under European cylinder method 6 MPa. Possible uses: kerb bedding and backing. Data is only cradle to factory gate but beyond this the average delivery distance of ready mix concrete is 8.3 km by road (see reference 244).
GEN 1 (8/10 MPa)	0.70	0.65	0.59	0.104	0.094	0.082	Possible uses: mass concrete, mass fill, mass foundations, trench foundations, blinding, strip footing.
GEN 2 (12/15 MPa)	0.78	0.71	0.64	0.114	0.105	0.093	-
GEN 3 (16/20 MPa)	0.81	0.75	0.68	0.123	0.112	0.100	Possible uses: garage floors.
RC 20/25 (20/25 MPa)	0.86	0.81	0.73	0.132	0.122	0.108	-
RC 25/30 (25/30 MPa)	0.91	0.85	0.77	0.140	0.130	0.115	Possible uses: reinforced foundations.
RC 28/35 (28/35 MPa)	0.95	0.90	0.82	0.148	0.138	0.124	Possible uses: reinforced foundations, ground floors.
RC 32/40 (32/40 MPa)	1.03	0.97	0.89	0.163	0.152	0.138	Possible uses: structural purposes, in situ floors, walls, superstructure.
RC 40/50 (40/50 MPa)	1.17	1.10	0.99	0.188	0.174	0.155	Possible uses: high strength applications, precasting.
PAV1	0.96	0.89	0.81	0.148	0.138	0.123	Possible uses: domestic parking and outdoor paving.
PAV2	1.03	0.97	0.89	0.163	0.152	0.137	Possible uses: heavy duty outdoor paving.

Şekil 2.13. ICE veri tabanından bir sayfanın görüntüsü

3. ARAŞTIRMA ÖRNEĞİ VE FARKLI TAŞIYICI SİSTEMLERİN YDD İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bir binanın taşıyıcı sisteminin kütleli ağırlığı binayı oluşturan diğer bileşenler ile kıyaslandığında genellikle baskındır. Mimar ve mühendisler tasarım evresinde taşıyıcı sistem seçiminde karar verme yetkisine sahiptir. Bu sürece çevresel kriterleri dahil etmek, kısıtlı kaynakların daha verimli kullanılmasını ve inşaat sektörünün dünyamız üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya olanak sağlamaktadır. Bu nedenle mimar ve mühendisler sürdürülebilir bir çevre arayışımızda öncü bir rol oynamaktadır (Gervasio, 2017).

3.1. Ahşap, Betonarme ve Çelik Yapım Sistemleri

“Bir yapının strüktürel sistemi, etkili olan yerçekimi yüklerini ve yanal yükleri, yapı elemanlarında izin verilebilir gerilimi aşmadan karşılayacak ve yeryüzüne aktaracak şekilde tasarlanır ve inşa edilir” (Ching ve Adams, 2006).

Yapının taşıyıcı sisteminin hangi sistem olacağı erken tasarım evrelerinde verilmesi gereken bir karardır, çünkü her sistemin kendine özgü tasarım gereklilikleri vardır.

- Yapı fonksiyonu,
- Kullanım süresi,
- Yapım için ayrılan bütçe,
- Zemin durumu,
- İklim koşulları,
- Yapı malzemesi ve işçilik maliyetleri,
- Bakım ve onarım maliyetleri gibi sebepler taşıyıcı sistem seçimini etkileyen unsurlardan bazılarıdır.

Ancak günümüzde kısıtlı kaynakların tükenmesi, çevre kirliliğinin artışı gibi etkenler bizi çevreci yapılara yöneltmiştir ve taşıyıcı sistem seçiminde yalnızca yukarıdaki hususlara dikkat etmek yetersiz kalmaktadır. Sürdürülebilir bir yapı, taşıyıcı sistemi ile de doğaya en az zararı verecek şekilde tasarlanmalıdır. Hangi yapım türünün daha sürdürülebilir olduğu karmaşık bir konudur ve tek bir cevabı yoktur, çünkü her

yapım sisteminin avantajları ve sınırlılıkları vardır. Bunun cevabını verebilmek için proje özelinde çalışmalar yapılmalı, alternatifler değerlendirilmelidir.

Ülkemizde konut yapım sistemlerinde beton kullanımı oldukça yaygındır ve kullanıcılara sunulan neredeyse tek alternatiftir. Geçmişimizde konut üretiminde yaygın olarak kullanılan ahşap konutlar günümüzde en az tercih edilen seçenek haline gelmiştir. Avlar ve Karaçar Ercoşkun'un bu konu üzerinde 2012 yılında yaptığı bir araştırmada ahşap yapıların tercih edilmemesinin başlıca sebepleri sıralanmıştır. Bunlardan birkaçı; ahşap teknolojisinde ülkemizin oldukça geride kalması, mevzuatların ahşap yapı üretimine büyük kısıtlılıklar getirmesi ve mevzuatların yetersiz olmasıdır. Ahşap yapıların sektördeki tüm bu engellerine rağmen Koman ve Eren'in 2006 yılında yaptığı bir çalışmaya göre kullanıcılar ahşap veya karma yapım sistemleri ile inşa edilmiş müstakil konutların yaşamak için ideal yapılar olduğunu düşünmektedirler. Bu konutların konfor koşulları sağlandığı takdirde doğa ile iç içe ve toprağa yakın yaşam tarzını sağladıkları düşünülmektedir.



Şekil 3.1. Ahşap çerçeve sistem (<https://seagatestructures.com/common-misconceptions-of-wooden-building-construction/>)



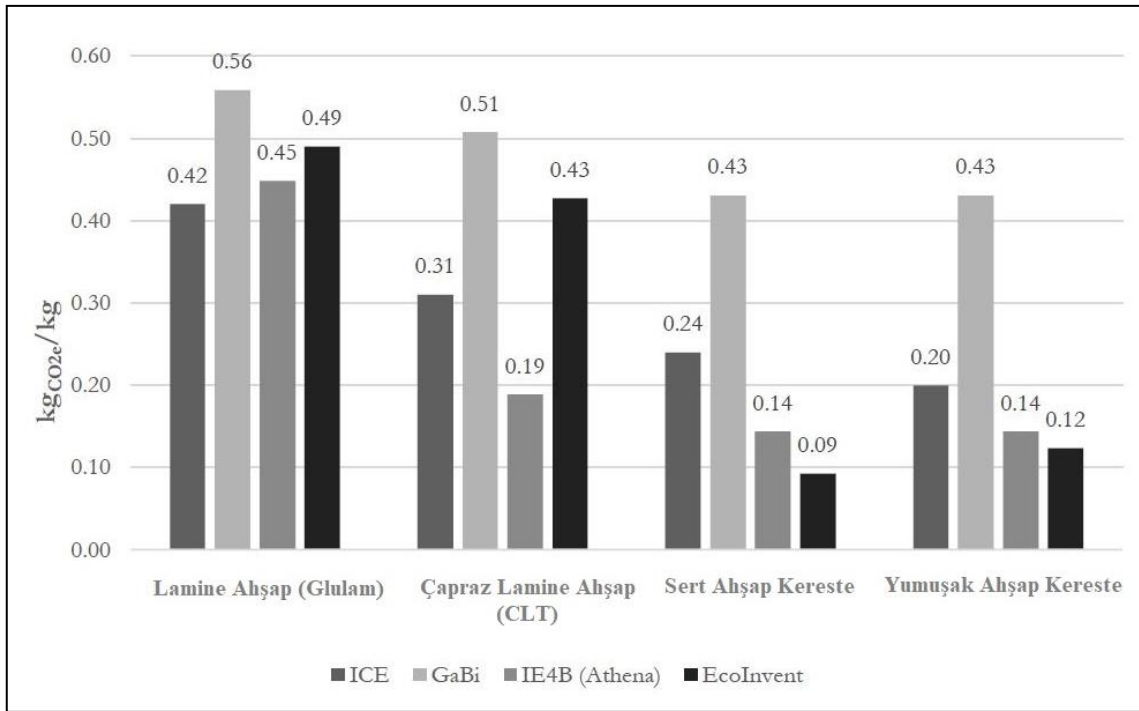
Şekil 3.2. Betonarme çerçeve sistem (<https://structuralengineeringbasics.com/what-are-beams-and-columns-building-construction/>)

Çelik konstrüksiyonlu konutlar ise hafiflik, hızlı ve prefabrike üretim gibi kriterlere göre ülkemizde yaşanan büyük depremlerden sonra betonarmeye bir alternatif olarak görülmektedir (Ekinci ve Eşsiz, 2005). Buna karşın ülkemizde çelik yapıların tüm yapılar içindeki payı 2005 yılı itibariyle yaklaşık %5 oranındadır (Yardımcı, 2005).



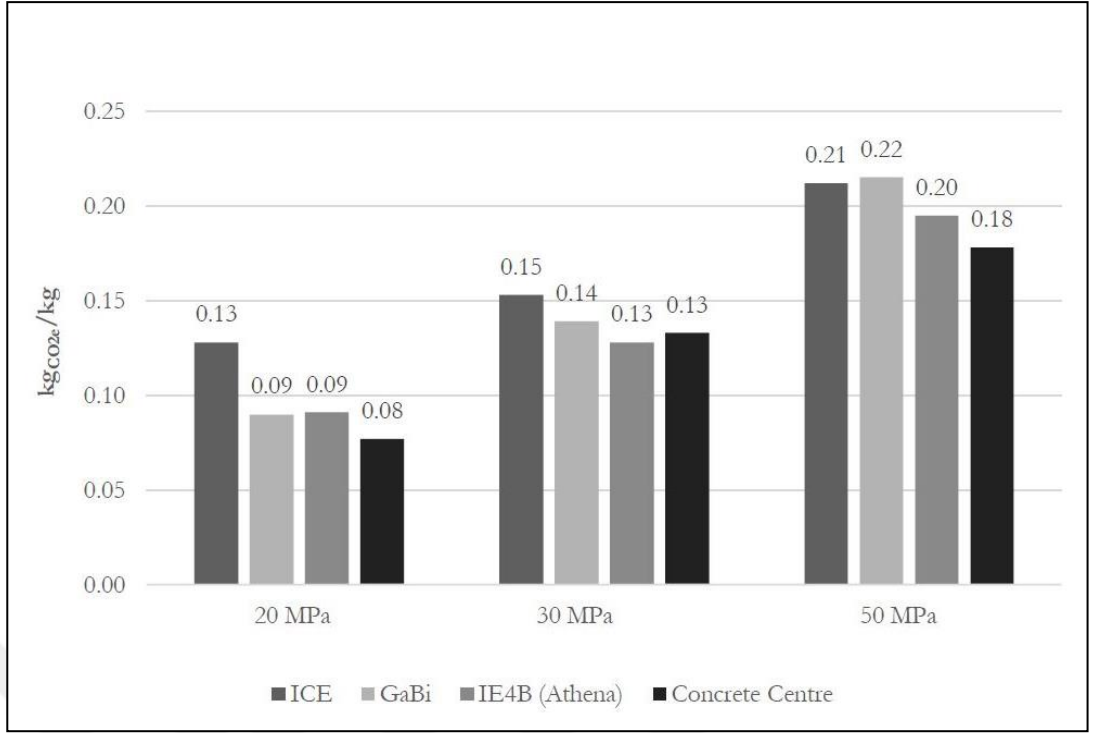
Şekil 3.3. Çelik çerçeve sistem (<https://tr.pinterest.com/horseabuildings/steel-construction-frame-house/>)

Ahşap, beton ve çelik yapı malzemelerini çevresel performans açısından incelemek için DeWolf çeşitli YDD programlarındaki gömülü karbon katsayılarını karşılaştırmalı olarak incelemiştir (Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6). Ancak bu değerler kilo başına düşen CO_{2e} değerleri olduğu için sadece bu sayıları karşılaştırmak yanlış olur zira binada kullanılan miktar çok önemlidir. Örneğin betonarme bir yapının aynı özelliklerle ahşaptan inşa edilmesi durumunda kullanılacak ahşap malzeme miktarı beton ile aynı ağırlığa sahip olmayacaktır.

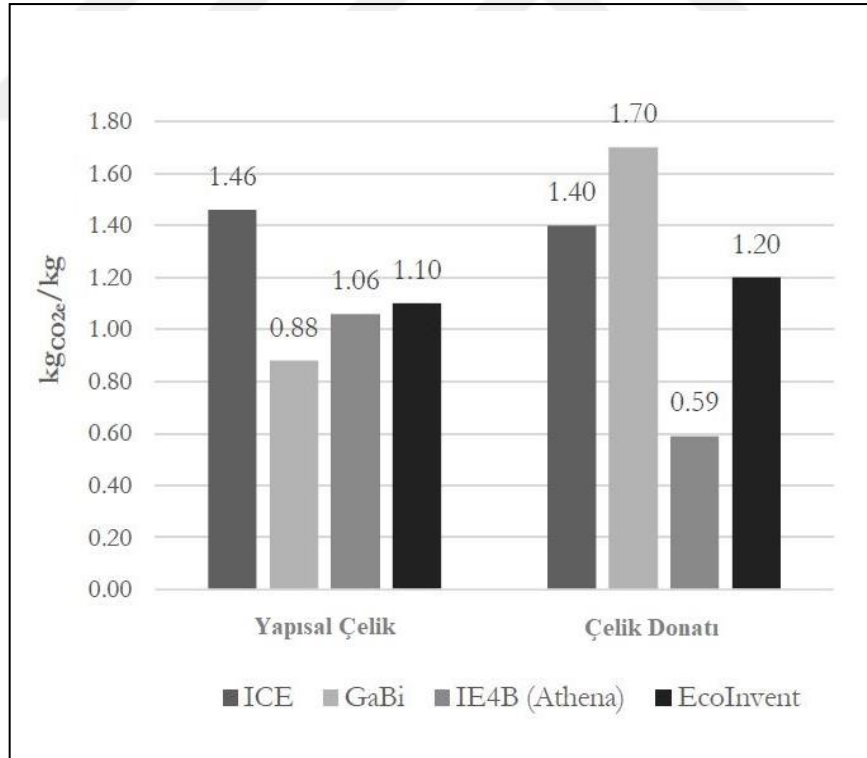


Şekil 3.4. Ahşap yapı malzemelerinin gömülü karbon katsayıları (DeWolf 2017)

Şekil 3.4.'te bazı ahşap ürünlerin kilo başına düşen gömülü enerjileri verilmiştir. Grafikte ayrıca dört farklı yaşam döngüsü değerlendirme veri kaynağı (ICE, GaBi, Athena Impact Estimator ve EcoInvent) verileri karşılaştırılmıştır. Ancak grafikten de anlaşıldığı üzere veri setleri arasında neredeyse 4 kata varan farklılıklar gözlemlenmektedir. Örneğin EcoInvent'in yumuşak ahşap sınıfı için verdiği değer 0,12 kgCO_{2e}/kg iken GaBi'nin verdiği değer 0,43'tür. Bu değerler veri setini oluşturan ülkedeki hammaddelerin niteliği, üretim şekilleri gibi pek çok sebepten farklılık gösterebilmektedir. Bu sebeple karşılaştırma yapılırken aynı veri kaynağını tüm seçenekler için kullanmak kıyaslamamızın doğruluğu açısından oldukça önemlidir.



Şekil 3.5. Farklı beton sınıflarının gömülü karbon katsayıları (DeWolf 2017)

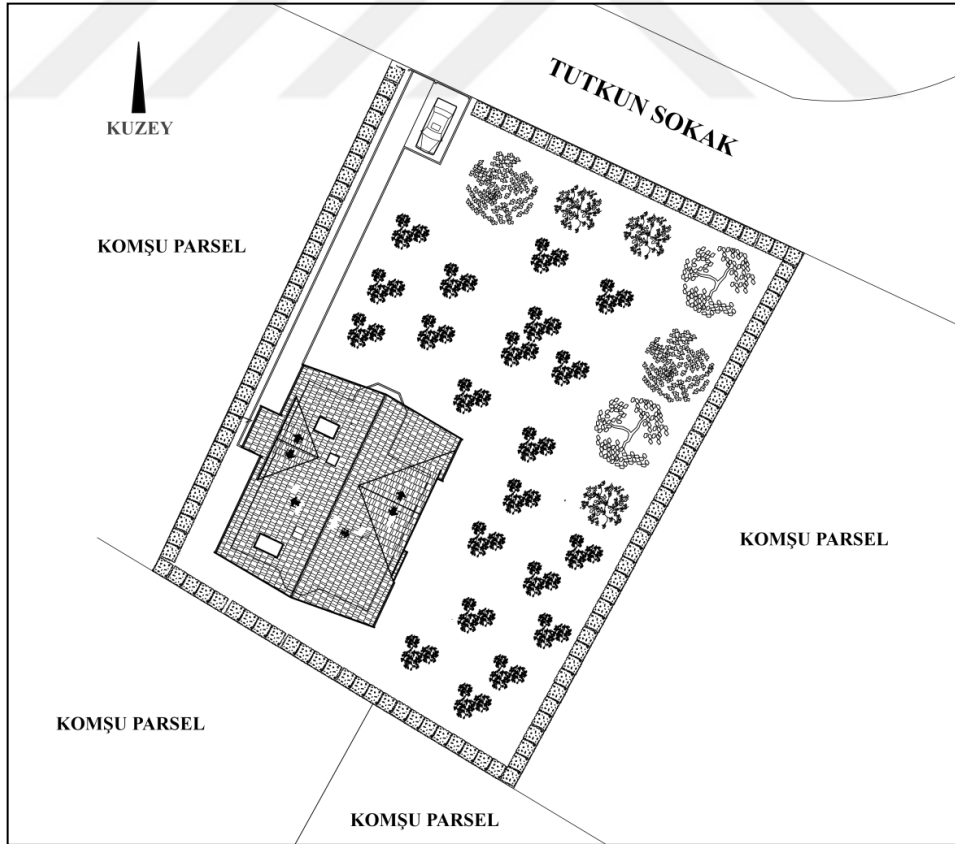


Şekil 3.6. Çelik yapı malzemelerinin gömülü karbon katsayıları (DeWolf 2017)

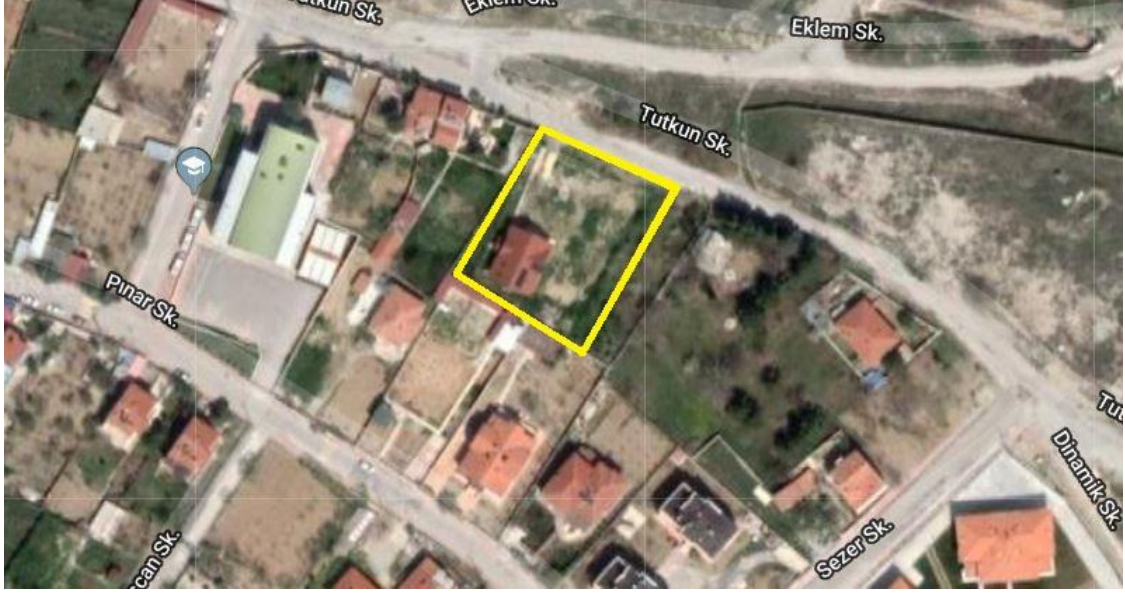
3.2. Araştırma Örneğinin Seçimi ve Çalışmanın Sınırları

Çalışma için Konya ili Sille Ak mahallesinde 2013 yılında inşa edilmiş müstakil bir konut seçilmiştir. Seçilen konut ayrıık düzende inşa edilmiş iki katlı bir yapıdır. Projenin künyesi aşağıdaki gibidir :

Yeri :	Sille Ak mah., Tutkun sok., Selçuklu, Konya
Proje Sahibi :	İsa Akyel
Mimari :	Gözay & Koçkuzu Mimarlık
Statik :	Ahmet Uzunpostalcı
Toplam İnşaat Alanı :	304 m ²
Kat Adedi :	Zemin + Çatı katı
Yapı Nizamı :	Ayrıık nizam
Yapım Yılı :	2013
Yapım Sistemi :	Ahşap Konstrüksiyon



Şekil 3.7. Akyel Evi vaziyet planı



Şekil 3.8. Akyel Evi uydu fotoğrafı (<https://www.google.com/maps>)



Şekil 3.9. Alan çalışması için seçilen ahşap konut : Akyel Evi (Koçkuzu, 2013)

Akyel evi kullanıcının talebi üzerine ahşap konstrüksiyonlu olarak tasarlanmıştır. Zemin kat ve çatı katından oluşan ayırık nizam bir aile evi olarak planlanmıştır. Zemin kat; yaşam alanı, yemek odası, mutfak, iki yatak odası, wc ve banyodan oluşmaktadır. Giriş galerisinden ahşap bir merdivenle çıkılan çatı katı; ikinci bir yaşam alanı, bir yatak odası, giyinme odası ve banyoyu içerir.



Şekil 3.10. Akyel Evi yapım aşaması (Koçkuzu, 2013)

Yapının kat yüksekliği 3.30 metredir. Kullanıma açık çatı katında ise %70 lik eğim sebebiyle iç yükseklikler değişkenlik göstermektedir. Ana mahya 7.40 kotundadır. Betonarme radye temel üzerine inşa edilen ahşap çerçeve şekil 3.10 ve 3.11’de yer almaktadır. Yapının güncel fotoğrafları şekil 3.12 ve 3.13’te görülmektedir.



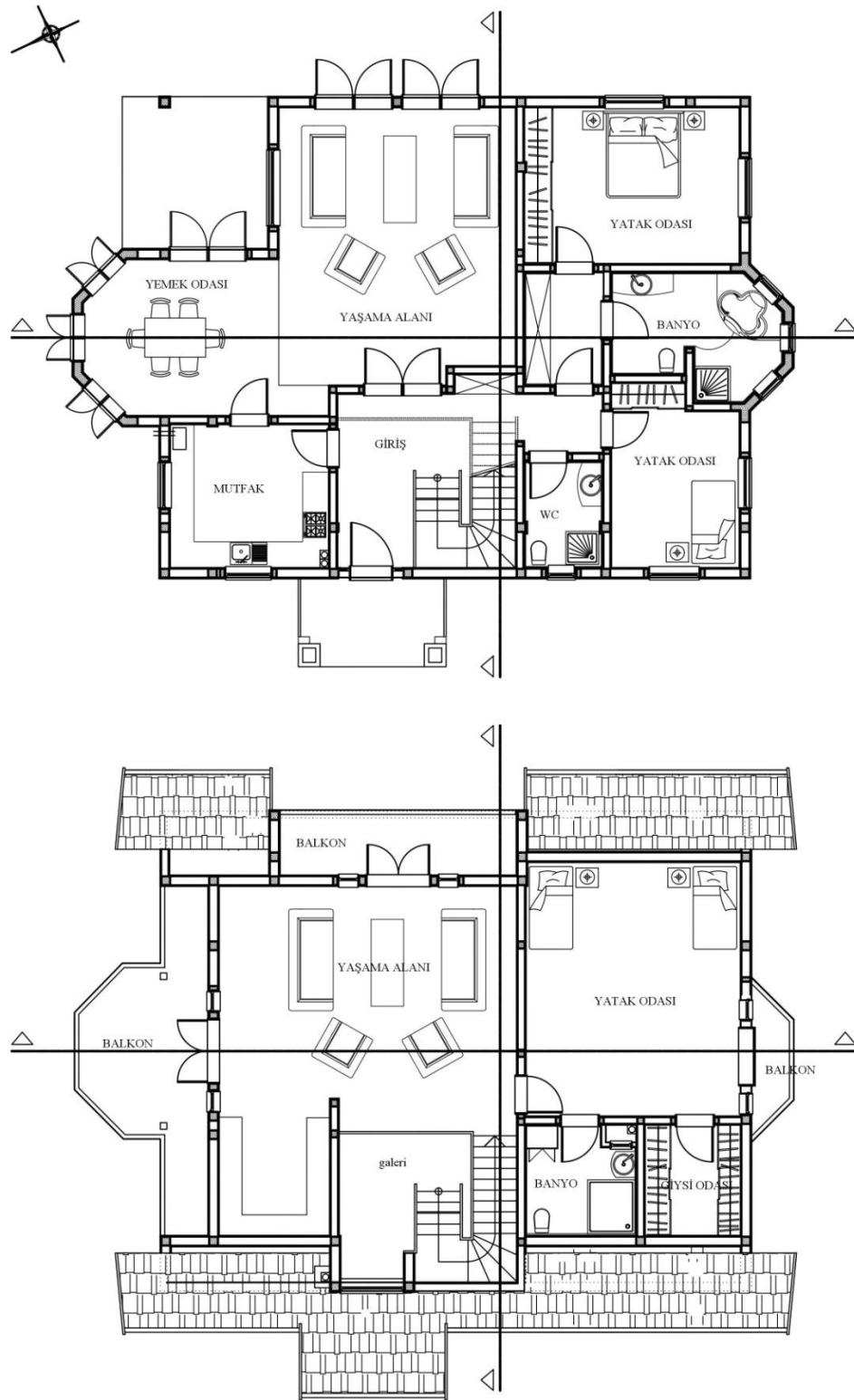
Şekil 3.11. Akyel Evi yapım aşaması (Koçkuzu, 2013)



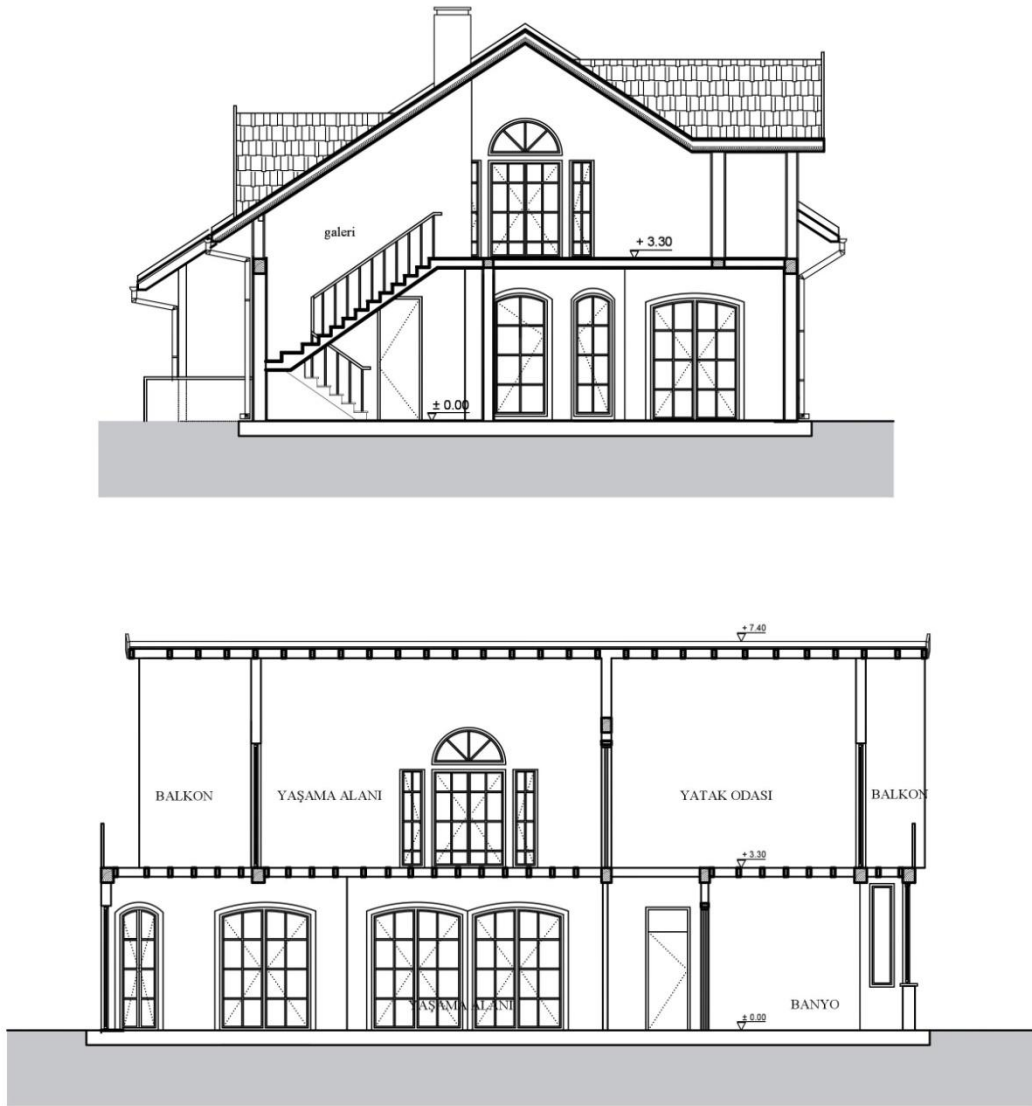
Şekil 3.12. Akyel Evi (Azkur, 2019)



Şekil 3.13. Akyel Evi (Azkur, 2019)



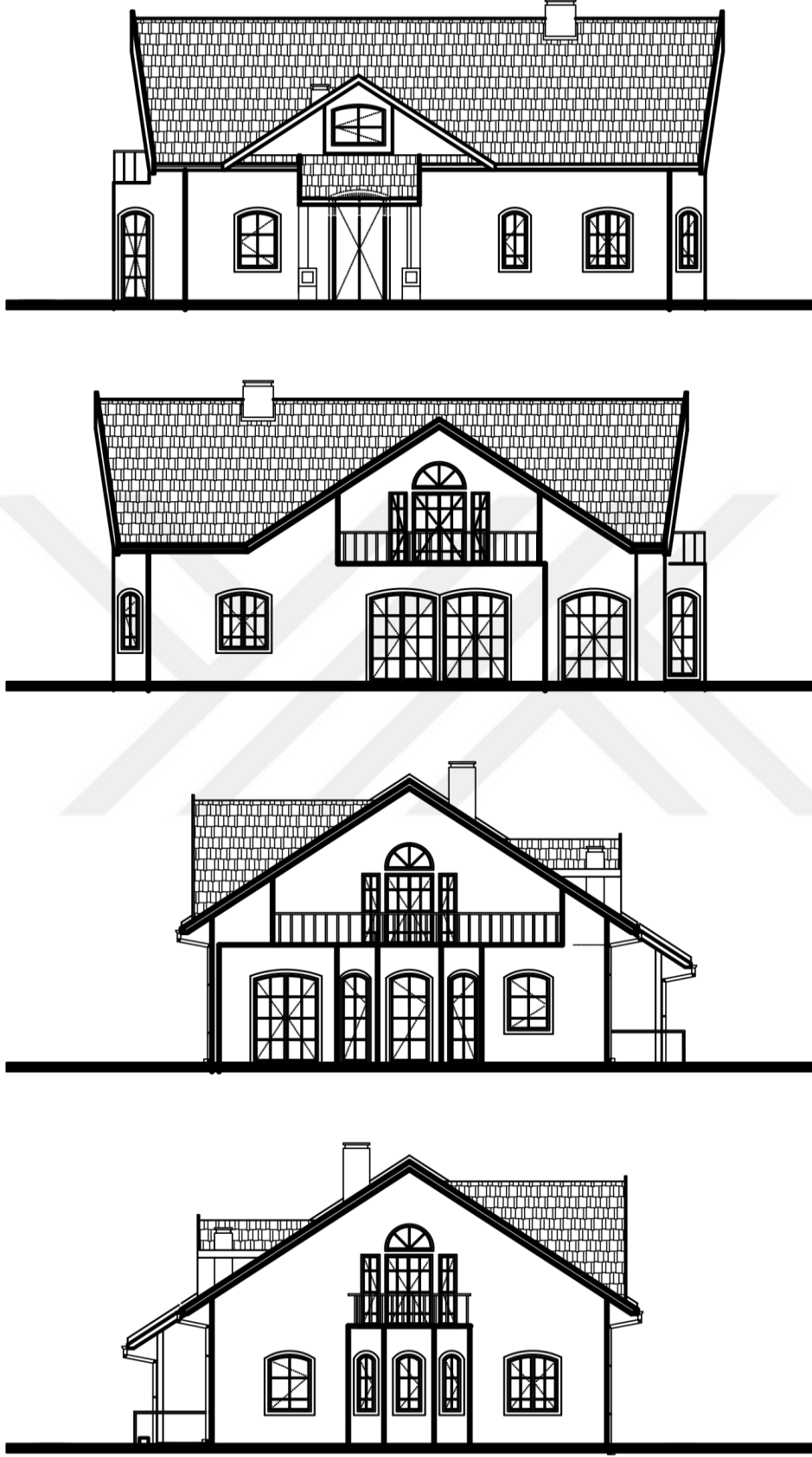
Şekil 3.14. Akyel evi zemin kat ve çatı katı planları



Şekil 3.15. Akyel evi kesitler



Şekil 3.16. Akyel Evi inşa aşaması (Koçkuzu, 2013)



Şekil 3.17. Akcel evi görünüşleri

Çalışmanın amacı, seçilen ahşap konutun tasarımını koruyarak oluşturulan çelik ve betonarme konstrüksiyonlu alternatiflerin gömülü enerji ve gömülü karbon bazında karşılaştırılmasıdır. Bu şekilde az katlı konut bağlamında hangi yapım sisteminin daha sürdürülebilir olduğu gözlemlenmiştir.

Tez kapsamında yapılan alan çalışması “beşikten kapıya” kadarki süreyi kapsamaktadır. Bu süre yaşam döngüsü değerlendirmesi metodolojisinde belirtilen A1, A2 ve A3 aşamalarıdır. Etki değerlendirmesi gömülü enerji ve gömülü karbon ile sınırlandırılmıştır. Hesaplamalar için açık erişimli bir veritabanı olan ICE veritabanının 2011 yılında güncellenmiş versiyonu kullanılmıştır. ICE veritabanı Hammond ve Jones tarafından İngiltere’de Bath üniversitesinde geliştirilmiş bir veritabanıdır. Çeşitli yapı malzemelerinin gömülü karbon ve gömülü enerji katsayıları veritabanında yer almaktadır. Veri tabanındaki gömülü enerji katsayıları kilo başına düşen megajul (mj/kg) olarak hesaplanmıştır. Gömülü karbon katsayıları ise tüm sera gazlarını içerecek şekilde kgCO_{2e} olarak belirtilmiştir.

Yapı malzemesinin binada kullanılan miktarının kilogram biriminden değeri veri tabanında bulunan katsayılarla çarpılarak binanın toplam gömülü enerjisi ve gömülü karbon değerleri hesaplanmıştır.

3.2.1. Ahşap Konutun Gömülü Enerjisi ve Gömülü Karbon Değeri

Akyel evi betonarme radye temel üzerine oturan ve geri kalan strüktürü itibari ile tamamen ahşap bir yapıdır. Kolonlarda yapısal ahşap, kirişlerde lamine ahşap malzeme kullanılmıştır. Lamine ahşap malzeme tavanlar açıkta bırakılacağı için (kirişler bir kaplama elemanı ile örtülmemiştir), estetik bir görünüm oluşturması amacıyla kullanılmıştır. Isı yalıtımı için taş yünü tercih edilmiştir.

Ahşap iskeletin boşluklarına doldurmak suretiyle dış duvarlara ve çatıya taş yünü ile ısı yalıtımı yapılmıştır (Şekil 3.18). Üzerine osb levhalar yerleştirilerek dış duvarlarda ve çatıda tüm bina su yalıtım membranı ile kaplanmıştır. Çatı kaplaması olarak kiremit tercih edilmiştir (Şekil 3.19). Son olarak cepheler ve iç duvarlar kullanıcının isteği doğrultusunda doğal ahşap lambri ile bitirilmiştir.

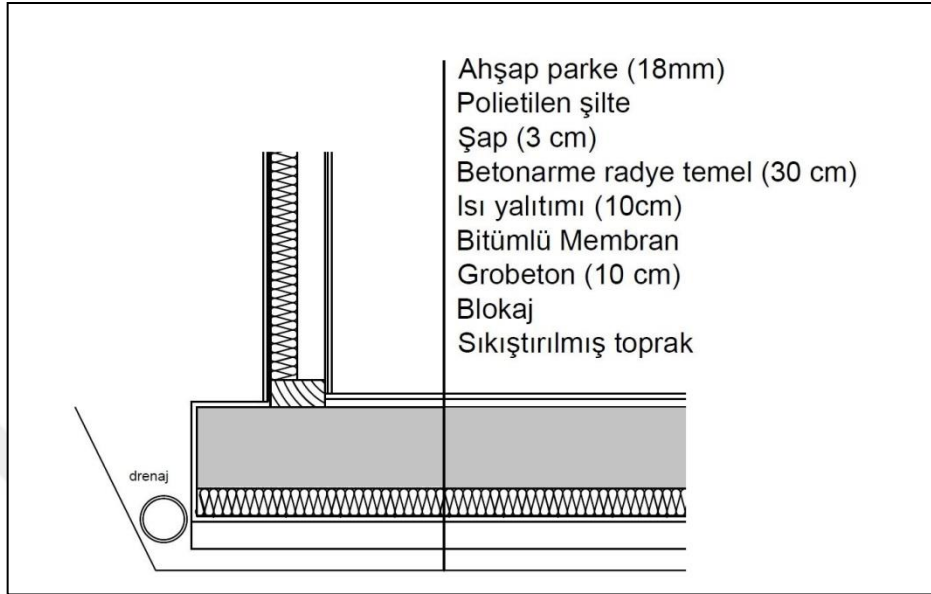


Şekil 3.18. Akyel Evi ısı yalıtımı uygulaması (Koçkuzu, 2013)



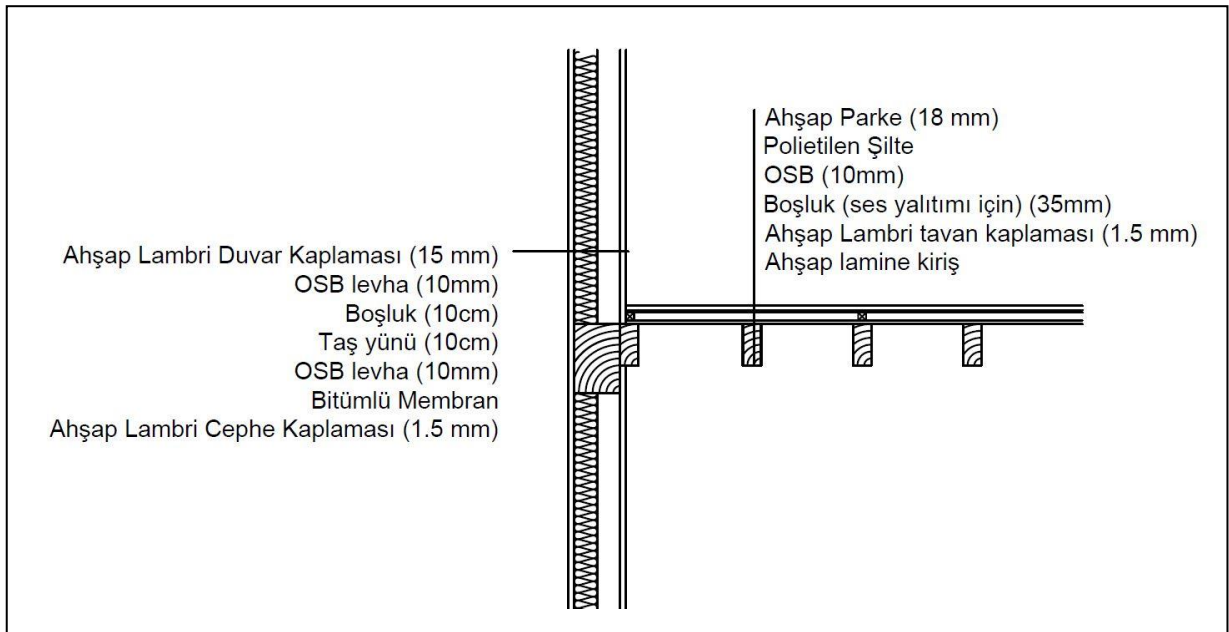
Şekil 3.19. Akyel Evi çatıya kiremit uygulaması (Koçkuzu, 2013)

Şekil 3.20’de ahşap konutun temel detayı yer almaktadır. Zemin düzeltme işlemlerinden sonra 10 cm kalınlığında grobeton uygulamasının üzerine su yalıtımı ve ısı yalıtımından sonra radye temel inşa edilmiştir.



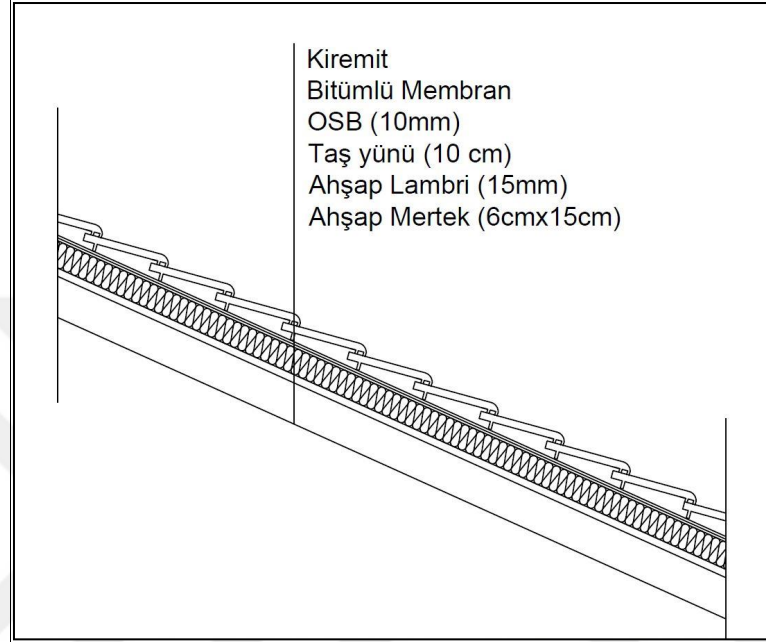
Şekil 3.20. Ahşap konut temel detayı

Şekil 3.21’de dış duvar ve döşeme detayı yer almaktadır. Dış duvarlar iç mekanda ve dış cephede ahşap lambri elemanlarla kaplanmıştır. Mantolama için tercih edilen taş yünü dış duvarlarda osb levhaların arasına yerleştirilmiştir.



Şekil 3.21. Ahşap konut dış duvar ve döşeme detayı

Şekil 3.22’de ahşap konutun çatı detayı yer almaktadır. Ahşap yapı strüktürü üzerine lambri uygulaması yapılmıştır. Lambri üzerine ısı yalıtımı sağlaması bakımından taş yünü malzeme uygulanmış, osb ile örtülen bu yüzey üzerine su yalıtımı ve kiremit uygulaması yapılmıştır.



Şekil 3.22. Ahşap konut çatı detayı

Ahşap konutun ana yapı elemanlarında kullanılan malzemeler kısaca çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Ahşap konutun temel yapı elemanlarının malzemeleri

Ahşap Konut	
Yapı Elemanı	Yapı Malzemesi
Temel	Betonarme Radye
Kolon	Yapısal Ahşap
Kiriş	Lamine Ahşap
Döşeme	Lamine Ahşap + Osb
Duvar	Ahşap Dikme + Osb
Çatı	Ahşap Taşıyıcılar + Kiremit
Pencere	Ahşap Kasa + Cam
Kapı	Ahşap Kasa ve Kanat

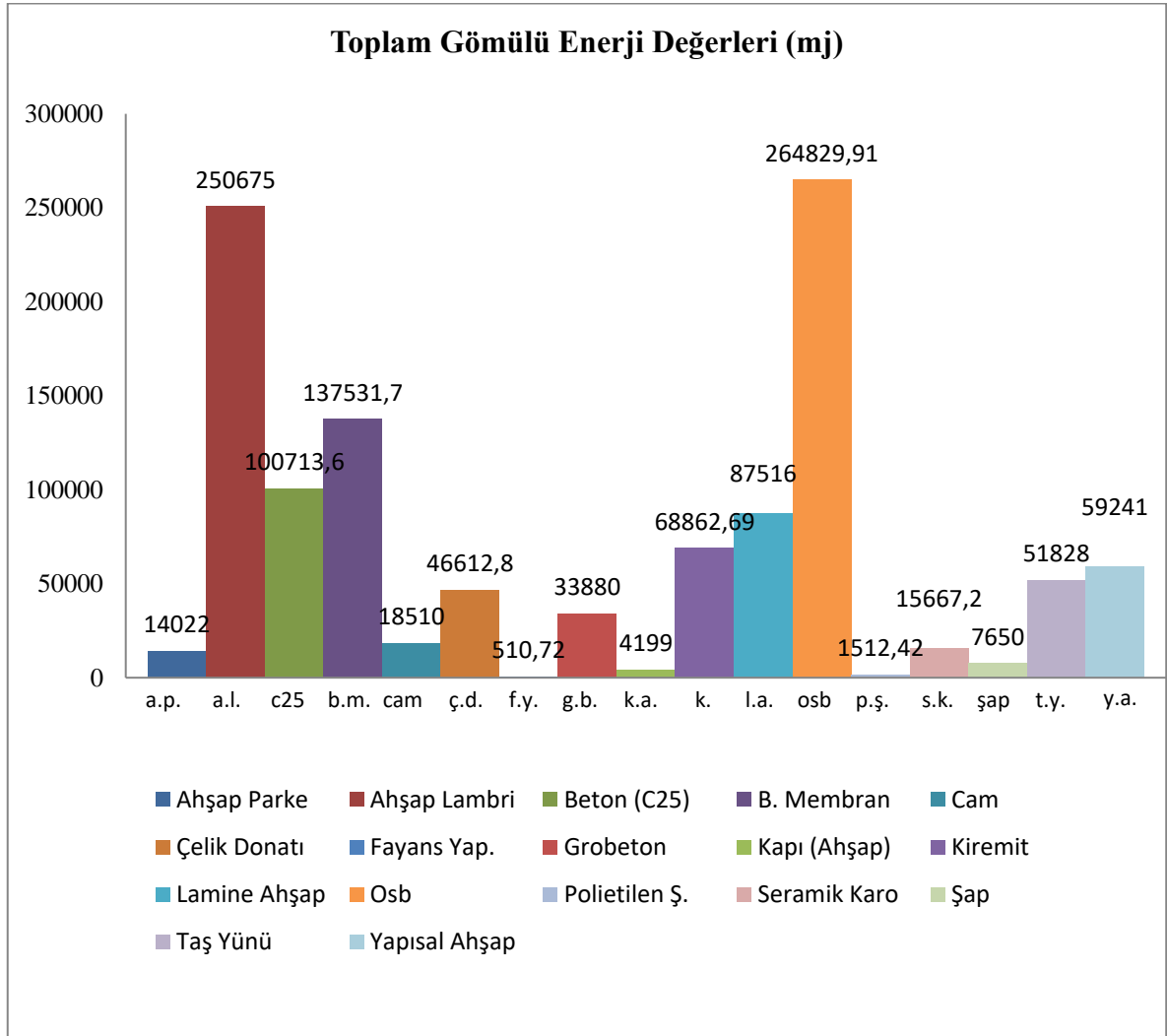
Öncelikle yapı malzemelerinin m² veya m³ bazında metrajları çıkarılarak bu malzemelerin kilogram değerinden karşılıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için yapı malzemesi üreticilerinin teknik föylerinden yararlanılarak, malzemelerin birim değerdeki ağırlıklarına ulaşılmıştır. Daha sonra bu değerler ICE veri tabanında belirtilen birim gömülü enerji ve birim gömülü karbon değerleri ile çarpılarak konutun mevcut halinin tükettiği gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri megajul ve kilo karbondioksit eşdeğeri cinsinden hesaplanmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Ahşap konutun malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri

Yapı Malzemeleri	Metraj (kg)	G.E.(Mj/kg)	G.E. (Mj)	G.K.(kgCO ₂ e/kg)	G.K.(kgCO ₂ e)
Ahşap Parke	1.476,00	9,5	14022,00	0,330	487,08
Ahşap Lambri (İç Duv., Cep.)	33.875,00	7,4	250675,00	0,200	6775,00
Beton (C25)	129.120,00	0,78	100713,60	0,113	14590,56
Bitümlü Membran	2.696,70	51	137531,70	0,490	1321,38
Cam	1.234,00	15	18510,00	0,910	1122,94
Çelik Donatı	2.158,00	21,6	46612,80	1,860	4013,88
Fayans Yapış.(Çimento Es.)	384,00	1,33	510,72	0,221	84,86
Grobeton (C8/10)	48.400,00	0,7	33880,00	0,104	5033,60
Kapı (Ahşap)	442,00	9,5	4199,00	0,330	145,86
Kiremit	10.594,26	6,5	68862,69	0,480	5085,24
Lamine Ahşap	7.293,00	12	87516,00	0,420	3063,06
Osb	17.655,33	15	264829,91	0,450	7944,90
Polietilen Şilte	18,20	83,1	1512,42	2,540	46,23
Seramik Karo	1.305,60	12	15667,20	0,780	1018,37
Şap	9.000,00	0,85	7650,00	0,136	1224,00
Taş Yünü	3.085,00	16,8	51828,00	1,120	3455,20
Yapısal Ahşap	5.924,10	10	59241,00	0,310	1836,47
	TOPLAM		1163762,04		57248,64
G.E. = Gömülü Enerji, G.K. = Gömülü Karbon					

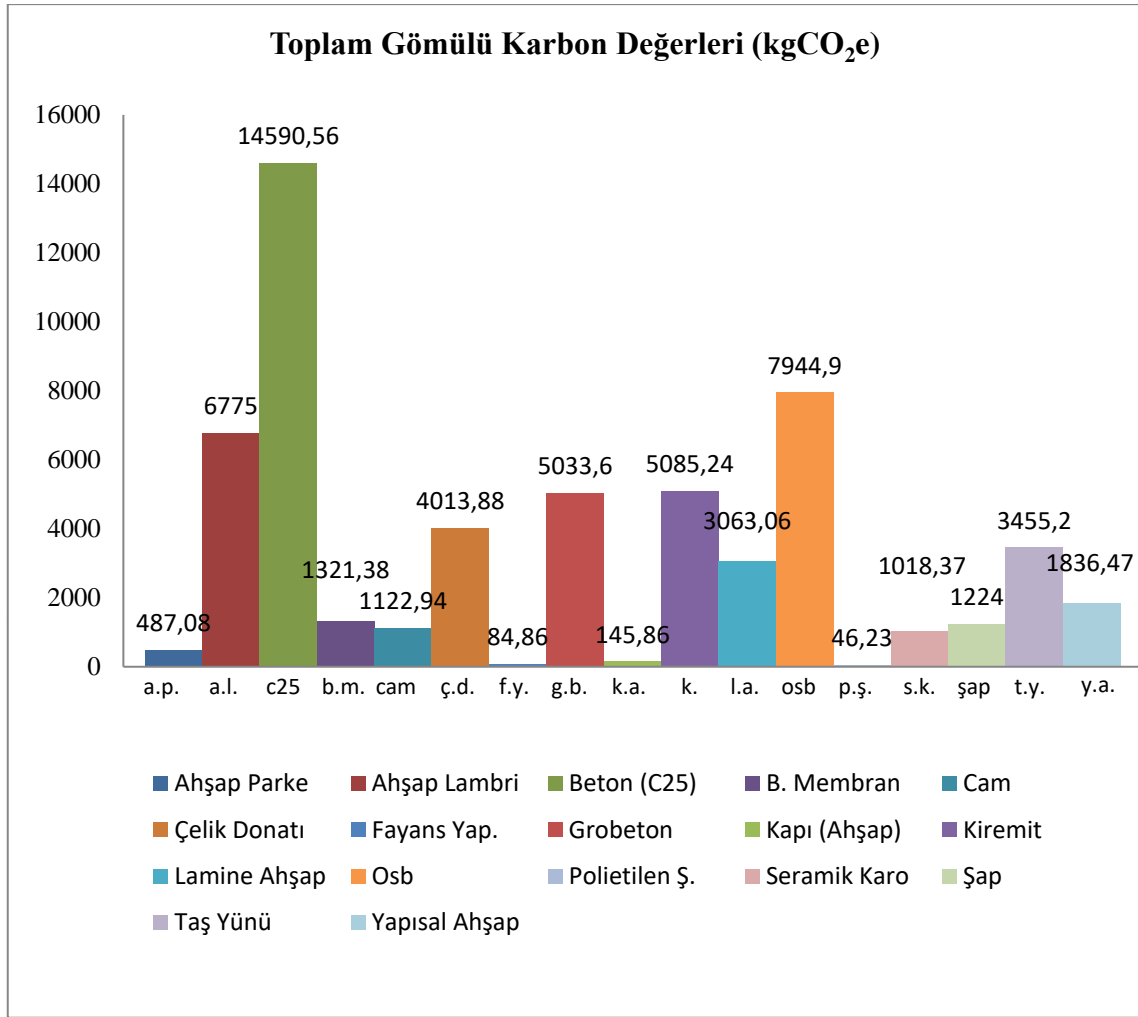
Yukarıdaki çizelgede ilk sütunda yapı malzemelerinin isimleri ikinci sütunda ise yapıda kullanılan toplam ağırlıklarının kilogram biriminden değerleri yer almaktadır. Üçüncü ve beşinci sütunlardaki birim gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri ICE veri tabanından alınan değerlerdir. Dördüncü ve altıncı sütunda ise yapı malzemelerinin ağırlıklarının, bu birim değerler ile çarpılarak elde edilmiş değerleri megajul ve kilo karbondioksit eşdeğeri cinsinden belirtilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen grafiklere göre gömülü enerjisi en baskın yapı malzemesi osb levha ve binanın hem iç hem de dış yüzeyini kaplayan ahşap lambri olmuştur.



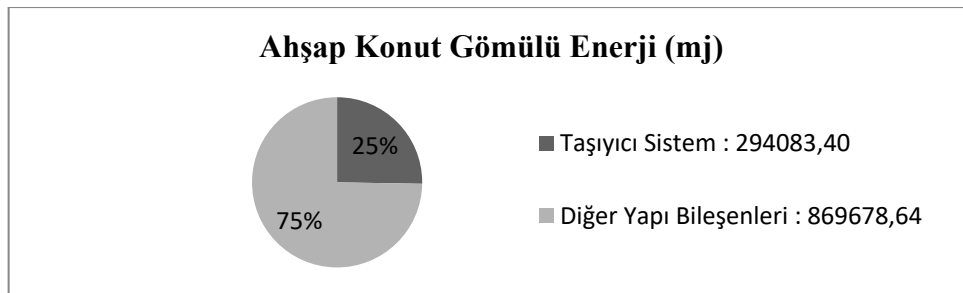
Şekil 3.23. Yapı malzemelerinin ahşap konuttaki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması

Şekil 3.24'ten elde edilen verilere göre, yapı malzemeleri arasında eşdeğer karbon değeri baskın çıkan malzeme yapının yalnızca temelinde kullanılmasına rağmen beton olmuştur. Yapının büyük kısmını oluşturan ahşap malzemelerin üretim aşamasında karbon salınımının betona göre daha az olması sebebi ile daha düşük gömülü karbon değerleri elde edilmiştir.

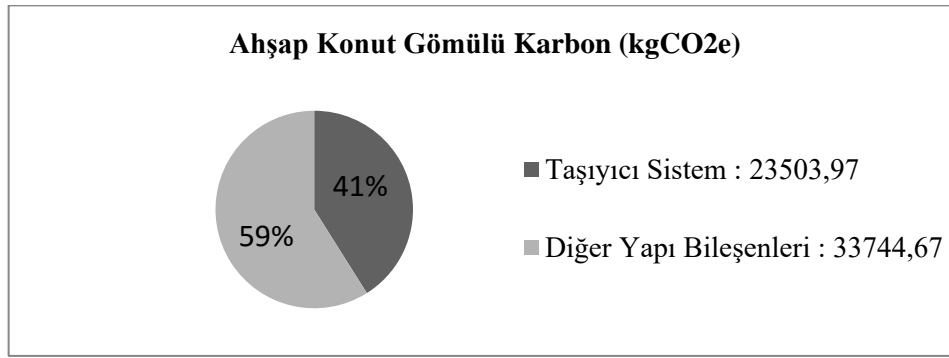


Şekil 3.24. Yapı malzemelerinin ahşap konuttaki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması

Yapıların taşıyıcı sistemleri toplam gömülü karbon ve gömülü enerji değerlerinin oldukça büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu çalışmada da bu amaçla taşıyıcı sistemler karşılaştırılmaktadır. Aşağıda ahşap konutun gömülü enerjisi ve gömülü karbon değeri taşıyıcı sistem ve diğer yapı bileşenleri bağlamında karşılaştırılmıştır (Şekil 3.25 ve Şekil 3.26).



Şekil 3.25. Ahşap konutta taşıyıcı sistemin gömülü enerji değerinin toplam gömülü enerji ile karşılaştırılması



Şekil 3.26. Ahşap konutta taşıyıcı sistemin gömülü karbon değerinin toplam gömülü karbon ile karşılaştırılması

Grafiklerden elde edilen verilere göre konutun taşıyıcı sistemi gömülü enerjinin %25'inden sorumludur. Yapının toplam gömülü karbon değerinin de %41'ini taşıyıcı sistem oluşturmaktadır. Bu veriler bir kez daha yapıların sürdürülebilirliğinde taşıyıcı sistemin önemini vurgulamaktadır.

3.2.2. Betonarme Konutun Gömülü Enerjisi ve Gömülü Karbon Değeri

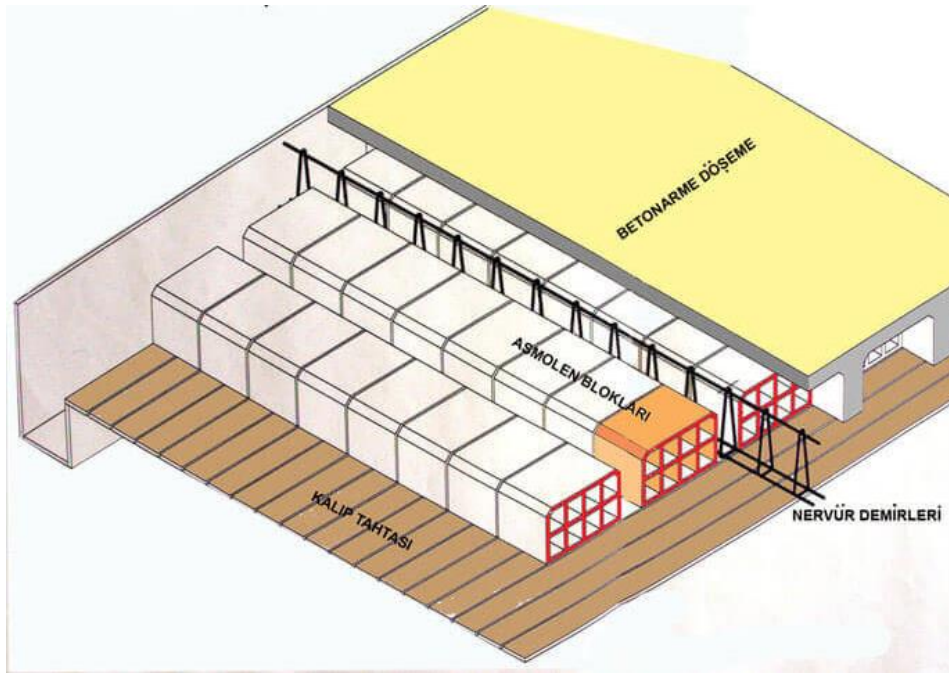
Tez çalışması kapsamında ahşap konuta alternatif olarak seçilen taşıyıcı sistemlerden ilki betonarme taşıyıcı sistemdir. Betonarme radye temel üzerine betonarme kolonlar ve asmolen döşeme (dişli döşeme) ile statik çözüm gerçekleştirilmiştir. Asmolen döşemeler iç mekanda temiz bir bitiş sağladığından (tüm kirişler döşemenin bir parçası olduğundan iç mekanda kiriş görülmez) konut projelerinde sık kullanılmaktadır.

Betonarme taşıyıcı sistemlerde katları birbirinden ayırmak amacıyla kullanılan farklı döşeme çeşitleri vardır. Döşemeler, dolu (plak) döşeme, dişli döşeme, kaset döşeme gibi farklı şekillerde üretilebilir. Asmolen döşemeler dişli döşemeler sınıfına giren bir döşeme çeşitidir. Dişli döşemeler 40–70 cm aralıklarla birbirine paralel kirişlerin (dişlerin) ana kirişlere oturtulması ve üzerine çok ince bir plak yapılması ile oluşturulan bir döşemedir. Dişlerin genişliği 10–15 cm, yüksekliği 25–35 cm civarındadır. Plak 5-7 cm dir. Hacim dikdörtgen ise bir yönde dişli, kare veya dikdörtgene yakın ise iki yönde dişli tercih edilebilir. Bir yönde dişli döşemenin diş açıklığı 10- 12 metre, iki yönde dişli döşemenin diş açıklığı 14-15 metre olabilir. Dişler

herhangi bir taşıyıcı özelliği olmayan asmolen bloklarla doldurulabilir (Şekil 3.27). Bu tip dişli döşemelere asmolen döşeme adı verilir. Asmolen bloklar boşluklu kil tuğlalardan, gaz betondan veya strafor malzemedен üretilebilmektedir. Bu bloklar beton uygulamasından önce döşemenin içine yerleştirilerek betonlar bütünleşmesi sağlanır (Şekil 3.28).



Şekil 3.27. Asmolen döşeme uygulaması (<http://bloksan.com.tr/uygulama>)



Şekil 3.28. Asmolen döşeme üç boyutlu çizimi (<https://www.insaathaber.org/asmolen-doseme-disli-doseme/>)

3.2.2.1. Betonarme Konut Birinci Alternatif

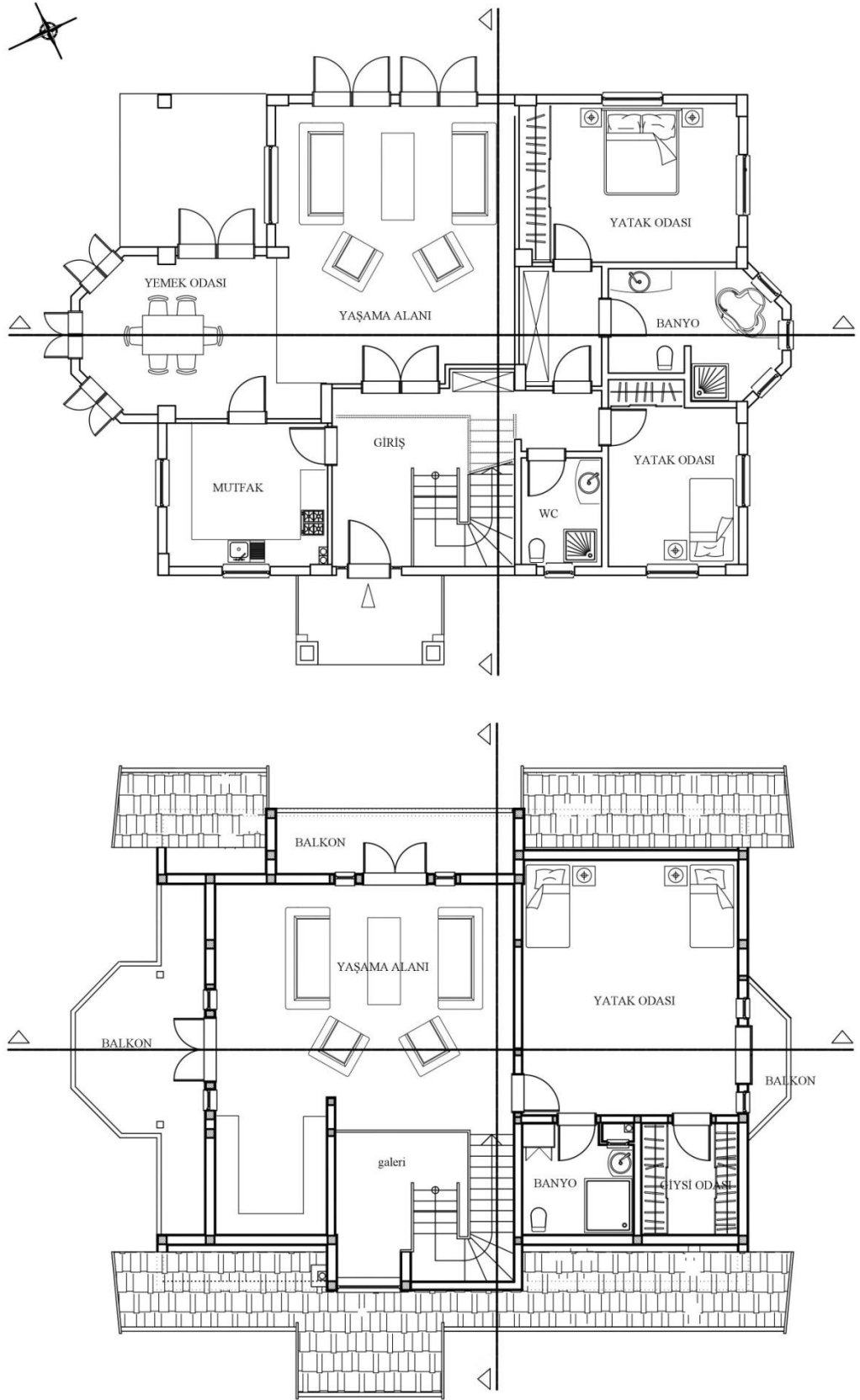
Betonarme taşıyıcı sistem ile üretilen birinci alternatif proje “Betonarme-1” olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmanın zemin katında betonarme taşıyıcılar, çatı katında ise ahşap taşıyıcılar kullanılmıştır. Çatı katında ahşap taşıyıcıların tercih edilmesinin sebebi ülkemizde betonarme konutlarda kullanılan yaygın bir çözüm olmasıdır. Çatı katında ahşap taşıyıcılarla birlikte delikli tuğla duvar uygulaması yapılmıştır (Şekil 3.30). Betonarme-1’de kullanılan malzemeler kısaca Çizelge 3.3’te özetlenmiştir; planlar ve kesitler şekil 3.31 ve 3.32’de yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Betonarme konutun temel yapı elemanlarının malzemeleri

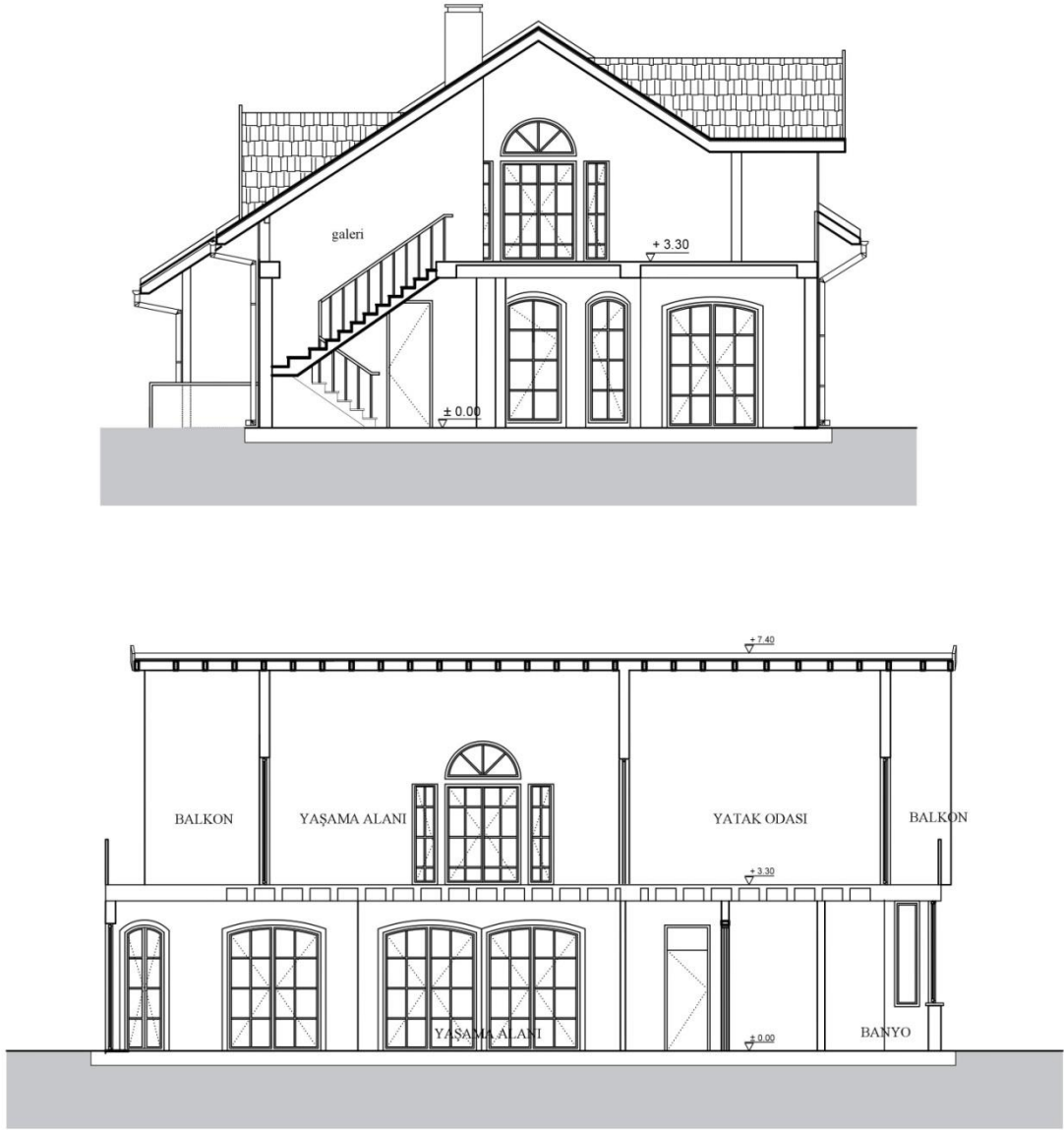
Betonarme Konut (Birinci Alternatif)	
Yapı Elemanı	Yapı Malzemesi
Temel	Betonarme Radye
Kolon	Betonarme
Kiriş	Betonarme
Döşeme	Betonarme Asmolen
Duvar	Delikli Tuğla
Çatı	Ahşap Taşıyıcılar + Kiremit
Pencere	Ahşap Kasa + Cam
Kapı	Ahşap Kasa ve Kanat



Şekil 3.30. Ahşap çatı ve tuğla duvar uygulaması (<https://www.danleysgarageworld.com/building-garage-attic/>)

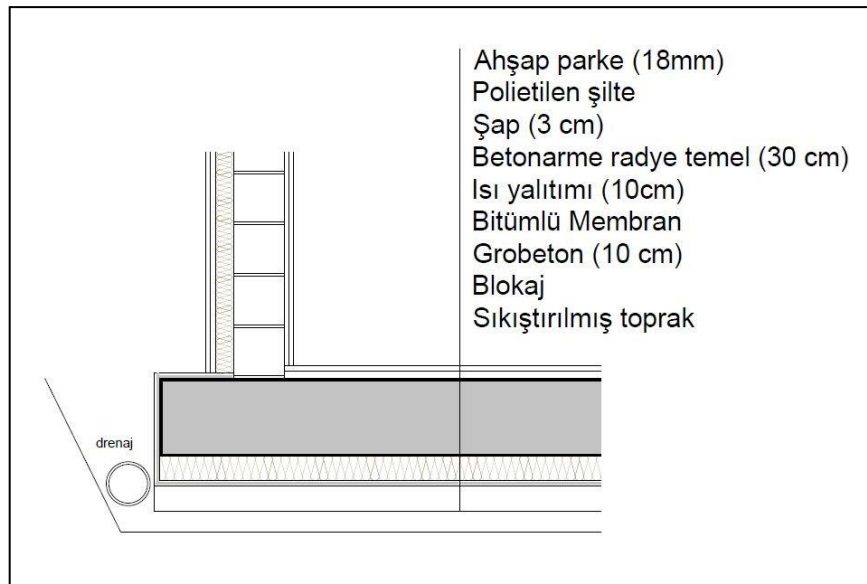


Şekil 3.31. Betonarme-1 alternatifi kat planları



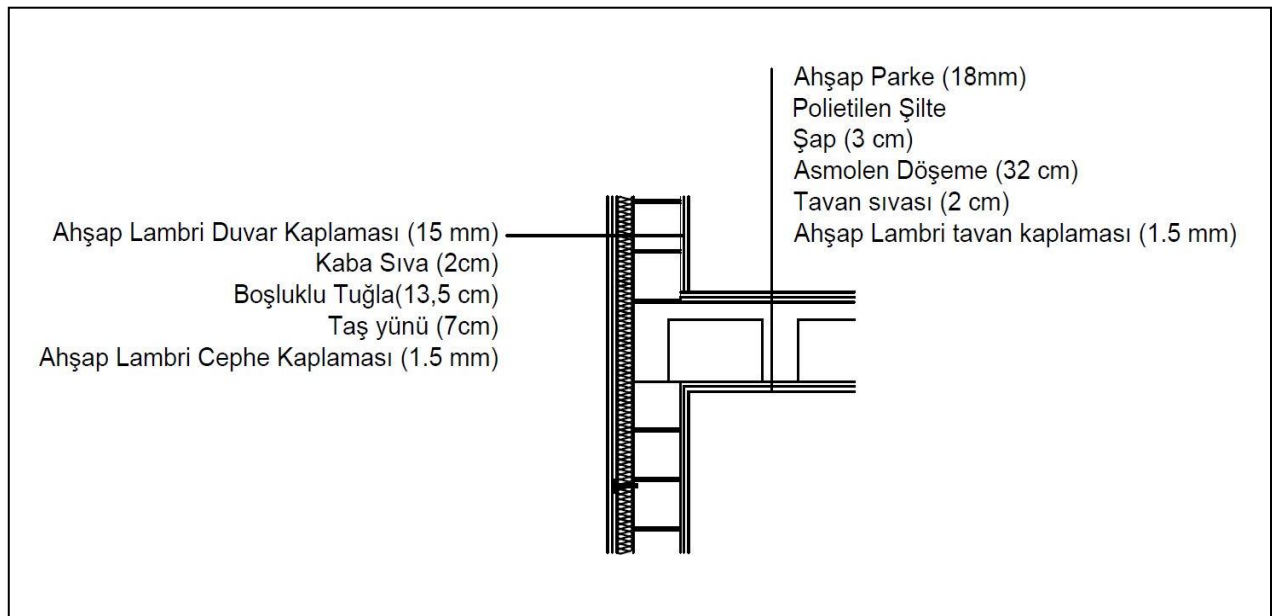
Şekil 3.32. Betonarme-1 alternatifi kesitleri

Betonarme konutun temel detayı şekil 3.33'da görüldüğü gibidir. Temel tipi radye temeldir. Grobeton üzerine sırasıyla su yalıtımı ve ısı yalıtımından sonra betonarme radye temel uygulanmıştır. Temel üzerine sırasıyla düzeltme şapı, polietilen şilte ve ahşap parke uygulanmıştır.



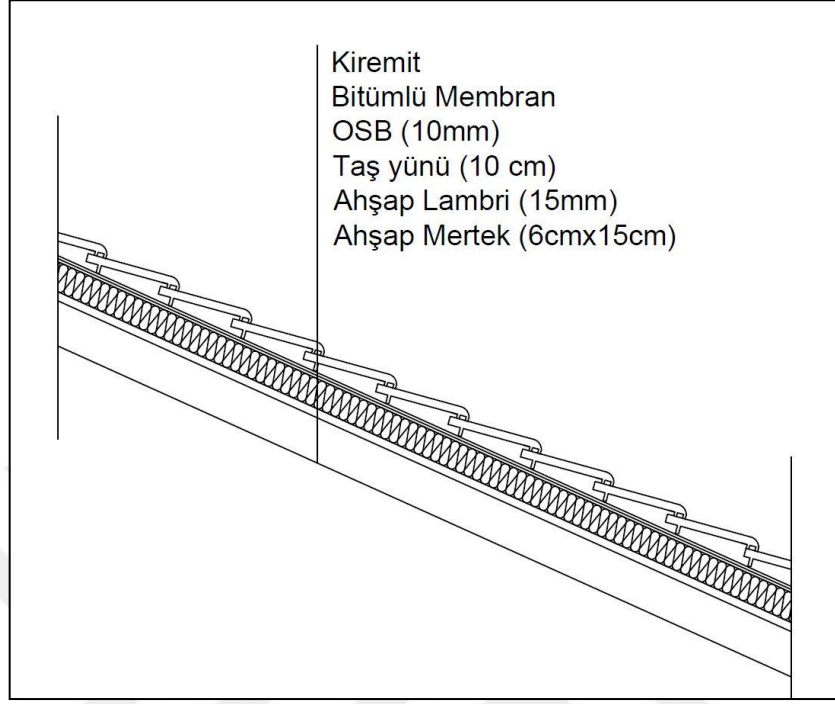
Şekil 3.33. Betonarme konut temel detayı

Şekil 3.33'te betonarme konutun dış duvar ve döşeme detayı verilmiştir. Zemin kat ve çatı katında iç ve dış duvarlarda boşluklu tuğla kullanılmıştır. İç ve dış duvarlar Akyel Evi'nin mevcut tasarımında olduğu gibi ahşap lambri ile kaplanmıştır. Çatı katı döşemesi için seçilen asmolen döşeme üzerine düzeltme şapı, polietilen şilte ve ahşap parke uygulanmıştır (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Betonarme konut dış duvar ve döşeme detayı

Temel, duvar ve kat döşemesi detayları her iki betonarme konut alternatifi için aynıdır. Betonarme-1'e ait çatı detayı şekil 3.35'tedir.



Şekil 3.35. Betonarme-1 konutu çatı detayı

Çizelge 3.4.'te Betonarme-1 alternatifinde kullanılan başlıca yapı malzemeleri ve onlara ait ağırlıklar kilogram cinsinden listelenmiştir. Bu miktarların gömülü enerji ve gömülü karbon cinsinden karşılıkları da tabloda yer almaktadır.

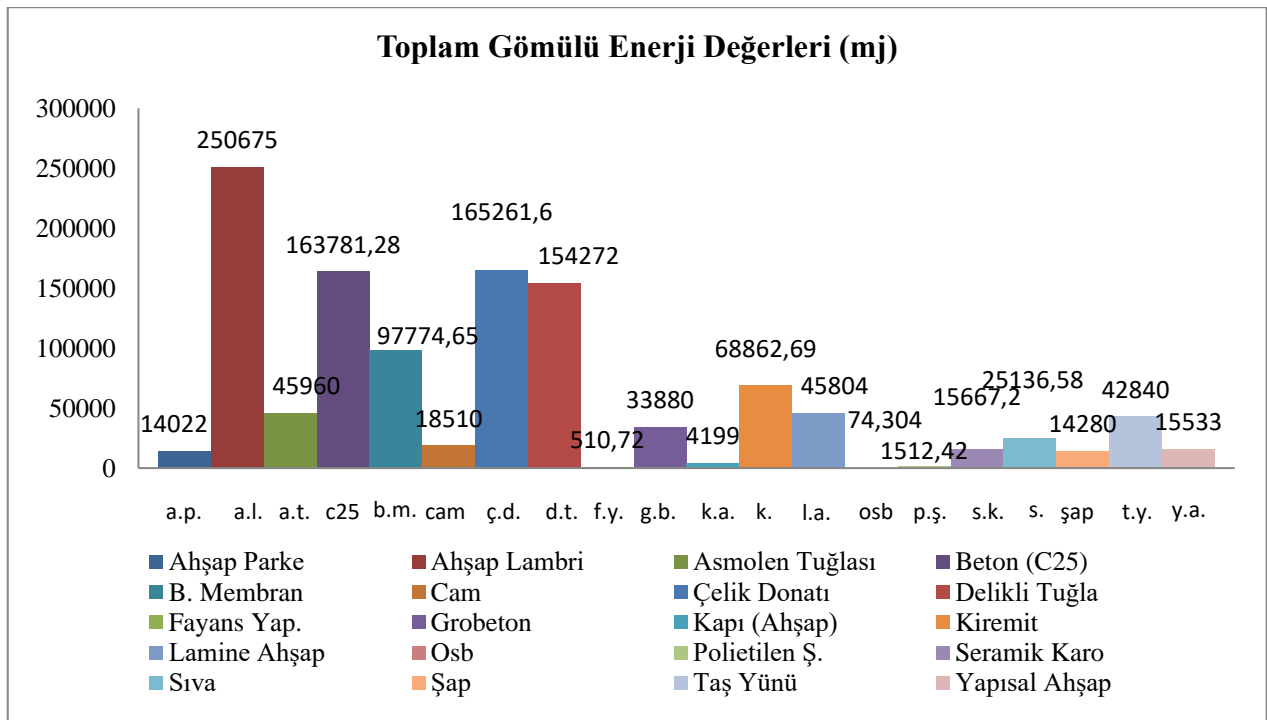
Taşıyıcı sistemi oluşturan malzemeler koyu harflerle gösterilmiştir. Dişli döşemenin boşluklarını dolduran bir dolgu malzemesi olan asmolen tuğlası, taşıyıcı niteliği olmamasına karşın strüktür sisteminin bir parçası olduğundan taşıyıcı sistemi oluşturan malzemeler grubunda gösterilmiştir.

Şekil 3.36'da ve Şekil 3.37'de yapı malzemelerinin toplam gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri sütun grafiklerle karşılaştırmalı olarak ifade edilmiştir.

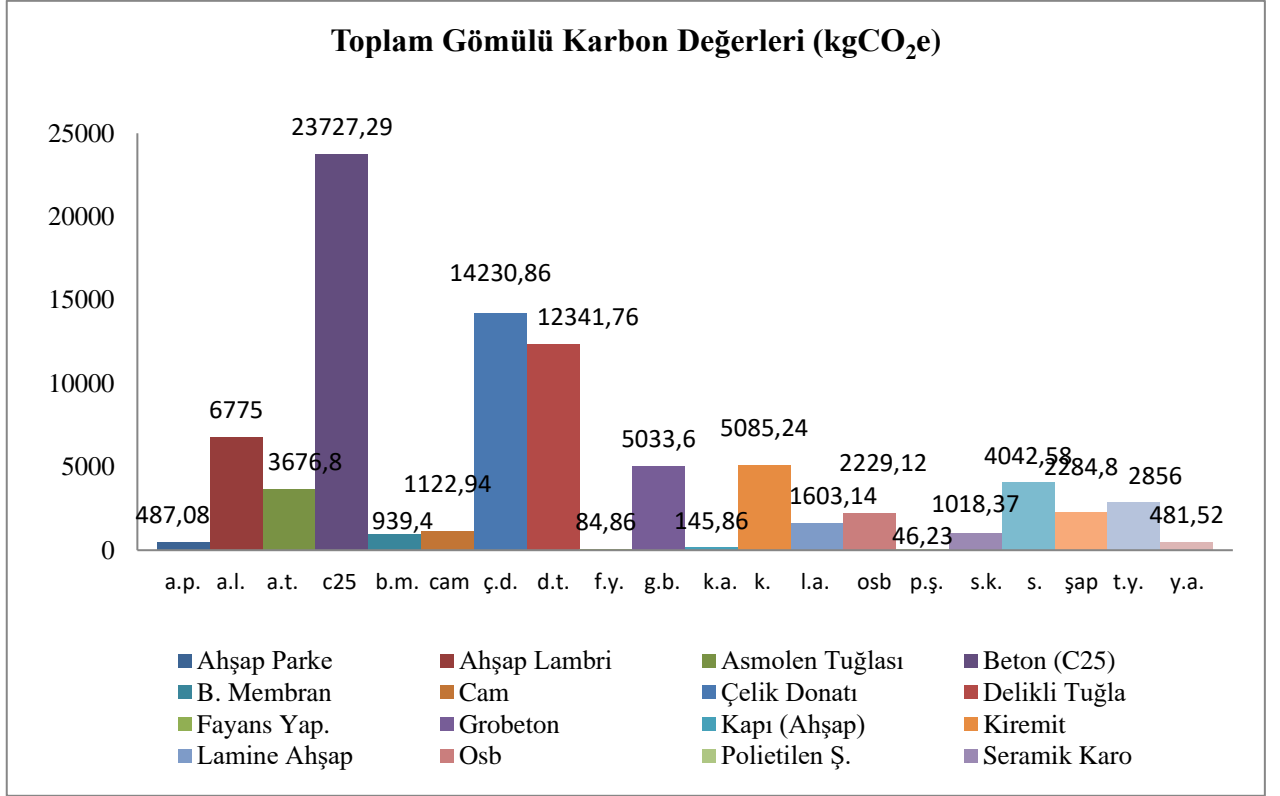
Çizelge 3.4. Betonarme-1 konutunun malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri

Yapı Malzemeleri	Metraj (kg)	G.E.(Mj/kg)	G.E.(Mj)	G.K.(kgCO ₂ e/kg)	G.K.(kgCO ₂ e)
Ahşap Parke	1476,00	9,50	14022,00	0,330	487,08
Ahşap Lambri (İç Duv.,Cep.)	33875,00	7,40	250675,00	0,200	6775,00
Asmolen Tuğlası	15320,00	3,00	45960,00	0,240	3676,80
Beton C25	209976,00	0,78	163781,28	0,113	23727,29
Bitümlü Membran	1917,15	51,00	97774,65	0,490	939,40
Cam	1234,00	15,00	18510,00	0,910	1122,94
Çelik Donatı	7651,00	21,60	165261,60	1,860	14230,86
Delikli Tuğla	51424,00	3,00	154272,00	0,240	12341,76
Fayans Yap. (Çimento Esaslı)	384,00	1,33	510,72	0,221	84,86
Grobeton	48400,00	0,70	33880,00	0,104	5033,60
Kapı (Ahşap)	442,00	9,50	4199,00	0,330	145,86
Kiremit	10594,26	6,50	68862,69	0,480	5085,24
Lamine Ahşap	3817,00	12,00	45804,00	0,420	1603,14
Os b	4953,60	15,00	74304,00	0,450	2229,12
Polietilen Şilte	18,20	83,10	1512,42	2,540	46,23
Seramik Karo	1305,60	12,00	15667,20	0,780	1018,37
Sıva	25914,00	0,97	25136,58	0,156	4042,58
Şap	16800,00	0,85	14280,00	0,136	2284,80
Taş Yünü	2550,00	16,80	42840,00	1,120	2856,00
Yapısal Ahşap	1553,30	10,00	15533,00	0,310	481,52
TOPLAM			1252786,14		88212,46

G.E. = Gömülü Enerji, G.K. = Gömülü Karbon

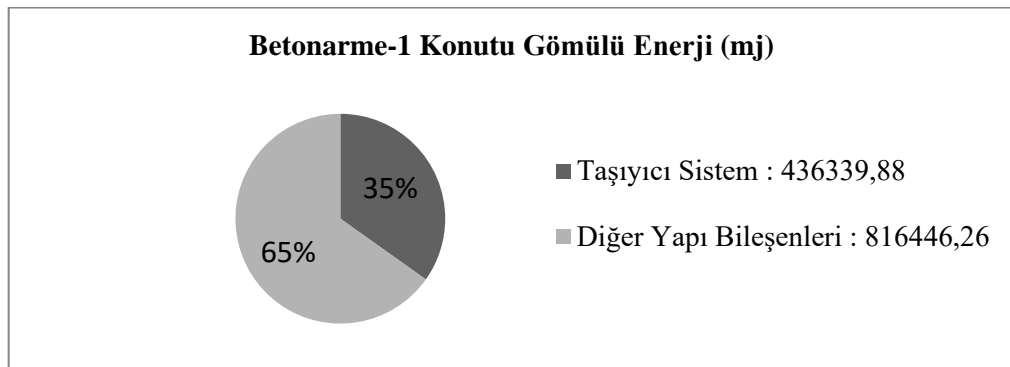


Şekil.3.36. Yapı malzemelerinin Betonarme-1'deki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması

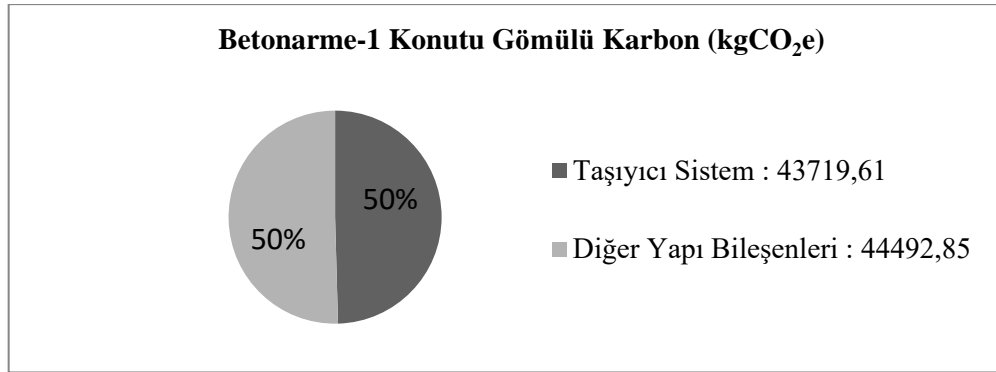


Şekil.3.37. Yapı malzemelerinin Betonarme-1'deki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması

Şekil 3.36 ve 3.37'ye bakıldığında gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri arasında belirgin farklar göze çarpmaktadır. Ahşap lambri ve osb malzeme gömülü enerji bakımından en yüksek değerleri oluştursalar da gömülü karbonları düşük malzemelerdir. Gömülü karbon değerleri incelendiğinde ise en yüksek karbon emisyonunun beton tarafından gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir.



Şekil.3.38. Betonarme-1 konutunun taşıyıcı sisteminin gömülü enerjisinin toplam gömülü enerji ile karşılaştırılması



Şekil.3.39. Betonarme-1 konutunun taşıyıcı sisteminin gömülü karbon değerinin toplam gömülü karbon ile karşılaştırılması

Betonarme-1 konutunun gömülü karbon ve gömülü enerjisinin taşıyıcı sistem ve diğer yapı bileşenlerinin birbirine oranı Şekil 3.38 ve 3.39'daki pasta grafiklerde ifade edilmiştir. Betonarme-1 alternatifinin gömülü enerjisinin %35'i taşıyıcı sistemden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.39'daki ikinci pasta grafikteki gömülü karbon değerlerine bakıldığında ise karbon salınımının %50'sinin taşıyıcı sisteme ait olduğu görülür.

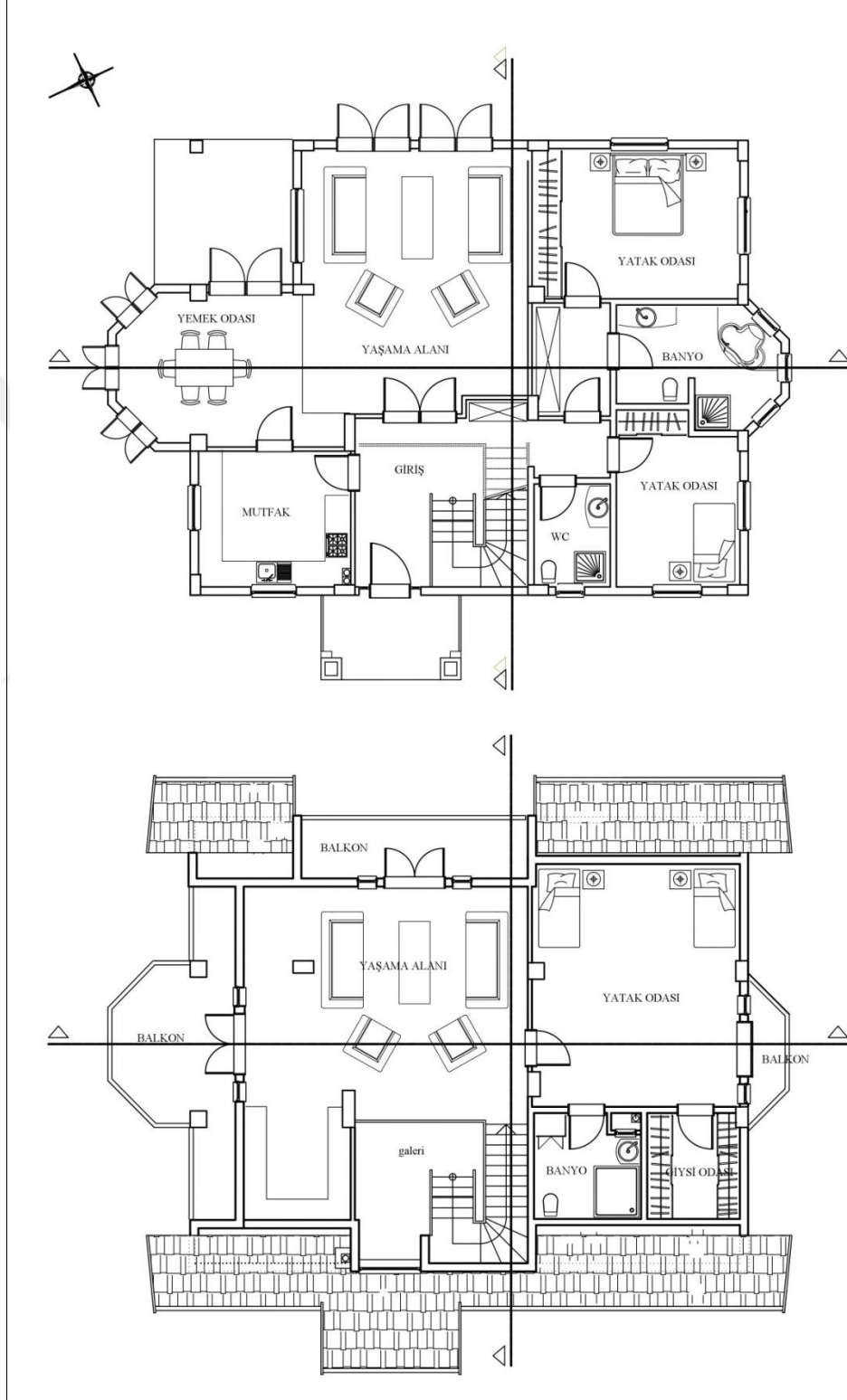
3.2.2.2. Betonarme Konut İkinci Alternatif

Betonarme taşıyıcı sistem ile üretilen ikinci alternatif proje "Betonarme-2" olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmanın hem zemin katında hem de çatı katında betonarme taşıyıcılar kullanılmıştır. Ayrıca çatı da eğimli betonarme çatı olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.40).

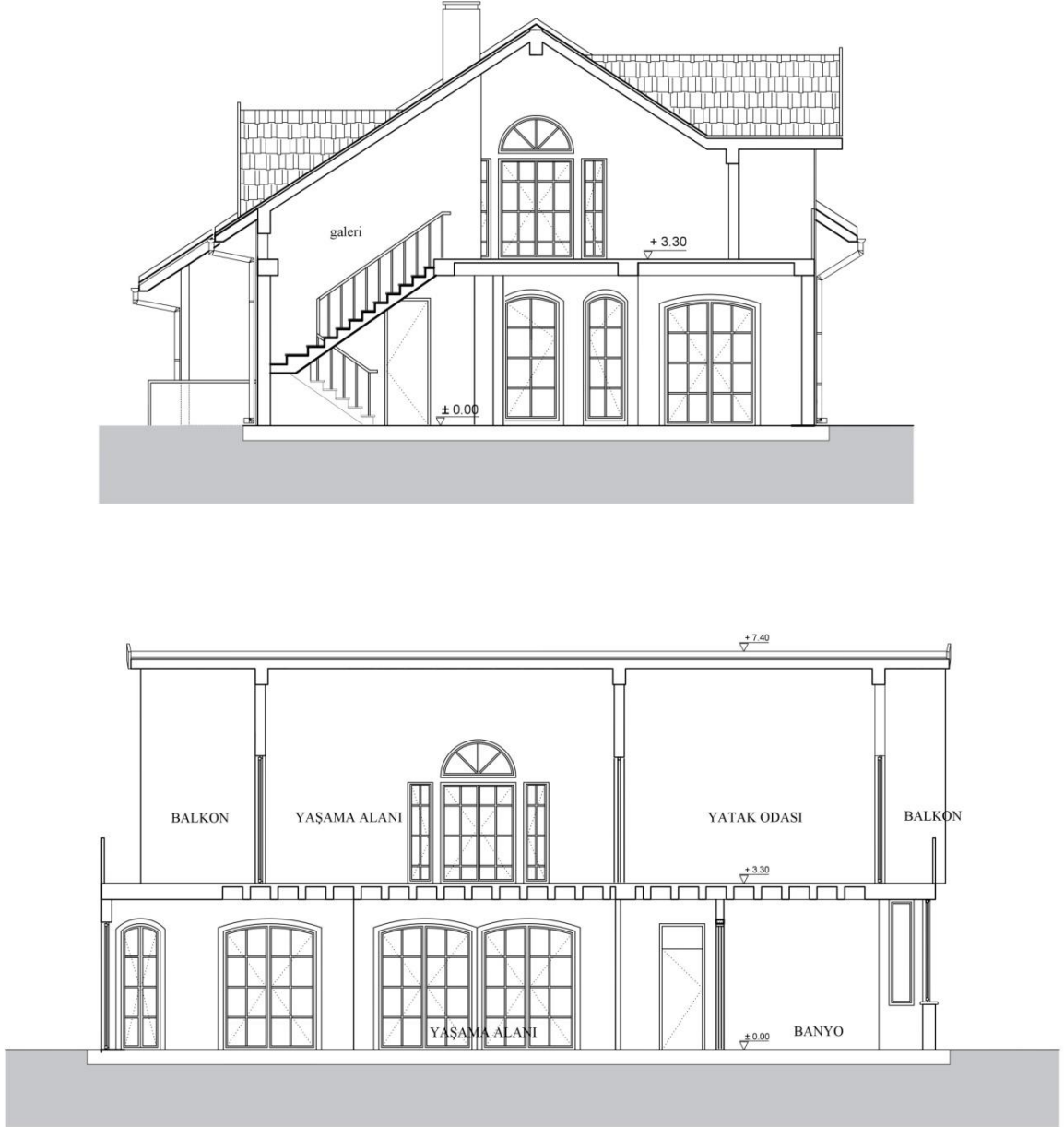


Şekil 3.40. Eğimli betonarme çatı (<http://www.kmyapi.com/hizmetlerimiz/20/beton-uzeri-ahsap-cati>)

Bu alternatifte tüm binanın betonarme strüktürle tasarlanması sebebi ile Betonarme-1 alternatifine göre bina ağırlaşmış ve kolon kesitleri buna bağlı olarak bir miktar artış göstermiştir. Şekil 3.41 ve Şekil 3.42’de Betonarme-2 alternatifinin planları ve kesitleri yer almaktadır.

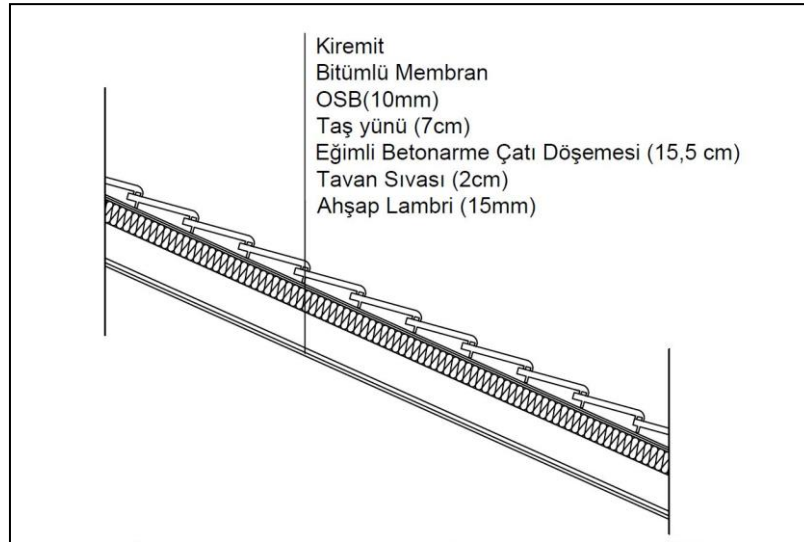


Şekil 3.41. Betonarme-2 alternatifinin kat planları



Şekil 3.42. Betonarme-2 alternatifinin kesitleri

Betonarme-2 alternatifinin duvar, döşeme ve temel detayları Betonarme-1 alternatifini ile aynıdır ve “Betonarme Konut Birinci Alternatif” başlığında belirtmiştir. Betonarme-2’ye ait çatı detayı Şekil 3.23’te yer almaktadır. Eğimli betonarme çatı kullanılan bu alternatifte çatı yüzeyinin üstünde sırasıyla taş yünü, osb, su yalıtımı (bitümlü membran) ve kiremit uygulamaları yapılmıştır. Çatının iç mekana bakan yüzeyleri ise sıva uygulaması ve ahşap lambri ile bitirilmiştir.

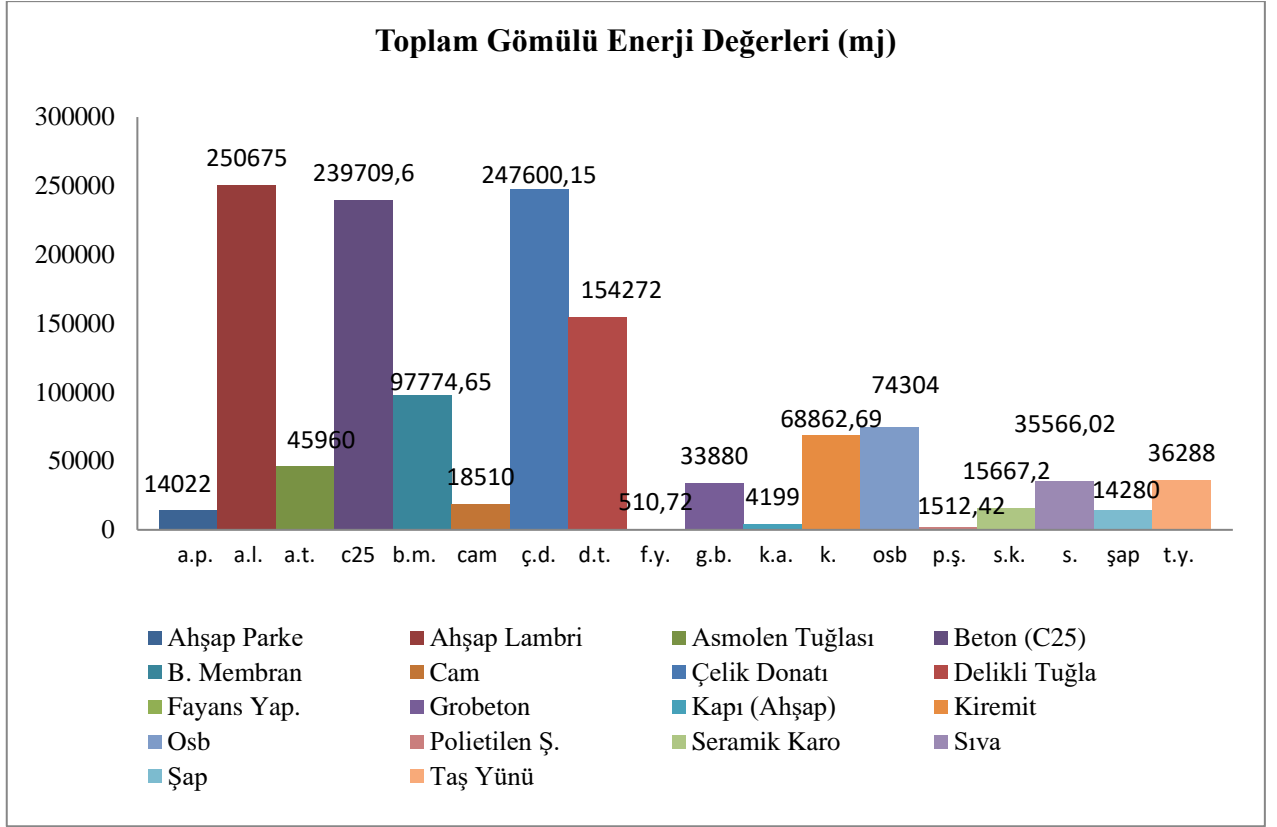


Şekil 3.43. Betonarme-2 konutunun çatı detayı

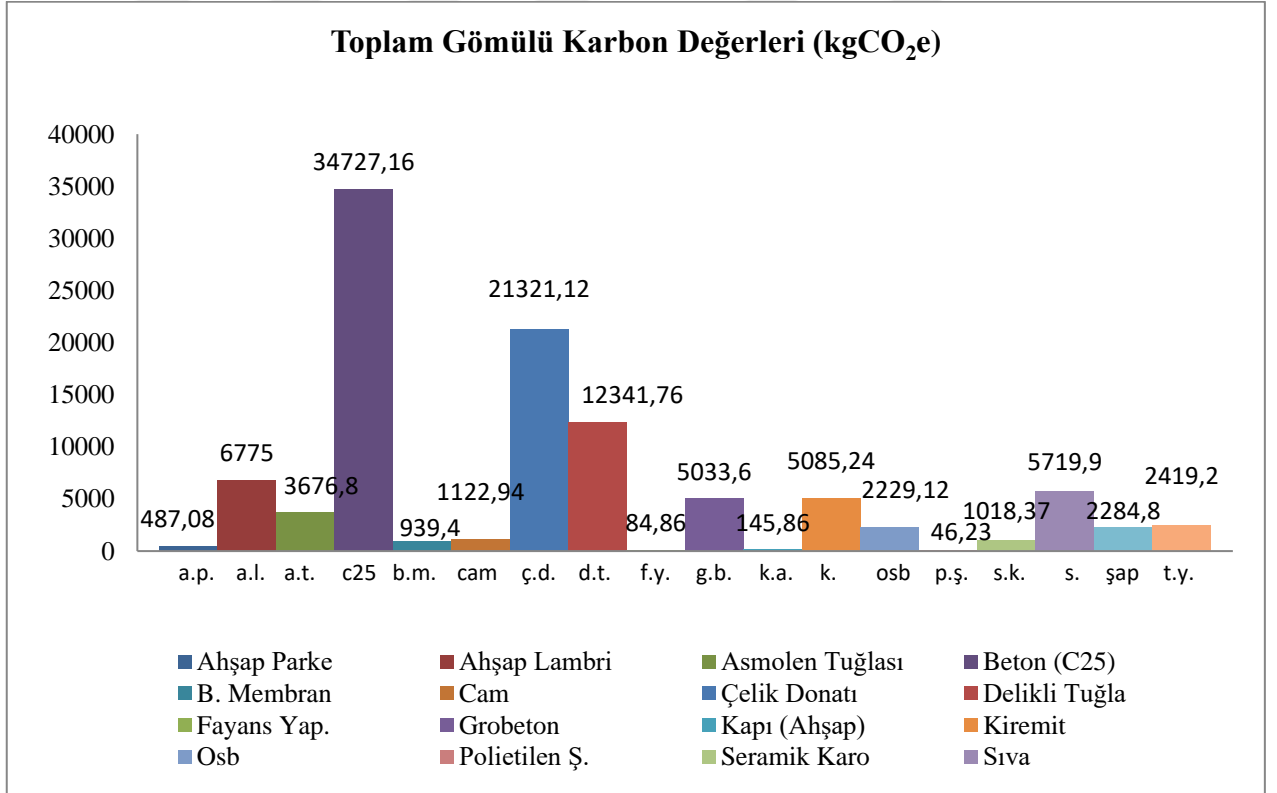
Çizelge 3.5'te Betonarme-2 alternatifinin malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri listelenmiştir. Şekil 3.44 ve 3.45'te ise yapı malzemelerinin çevresel performansı sütun grafiklerle ifade edilmiştir.

Çizelge 3.5. Betonarme-2 konutunun malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri

Yapı Malzemeleri	Metraj (kg)	G.E.(Mj/kg)	G.E.(Mj)	G.K.(kgCO ₂ e/kg)	G.K.(kgCO ₂ e)
Ahşap Parke	1476,00	9,50	14022,00	0,330	487,08
Ahşap Lambri (İç Duv.,Cep.)	33875,00	7,40	250675,00	0,200	6775,00
Asmolen Tuğlası	15320,00	3,00	45960,00	0,240	3676,80
Beton C25	307320,00	0,78	239709,60	0,113	34727,16
Bitümlü Membran	1917,15	51,00	97774,65	0,490	939,40
Cam	1234,00	15,00	18510,00	0,910	1122,94
Çelik Donatı	11462,97	21,60	247600,15	1,860	21321,12
Delikli Tuğla	51424,00	3,00	154272,00	0,240	12341,76
Fayans Yap. (Çimento Esaslı)	384,00	1,33	510,72	0,221	84,86
Grobeton	48400,00	0,70	33880,00	0,104	5033,60
Kapı (Ahşap)	442,00	9,50	4199,00	0,330	145,86
Kiremit	10594,26	6,50	68862,69	0,480	5085,24
Os b	4953,60	15,00	74304,00	0,450	2229,12
Polietilen Şilte	18,20	83,10	1512,42	2,540	46,23
Seramik Karo	1305,60	12,00	15667,20	0,780	1018,37
Sıva	36666,00	0,97	35566,02	0,156	5719,90
Şap	16800,00	0,85	14280,00	0,136	2284,80
Taş Yünü	2160,00	16,80	36288,00	1,120	2419,20
TOPLAM			1353593,45		105458,45
G.E. = Gömülü Enerji, G.K. = Gömülü Karbon					



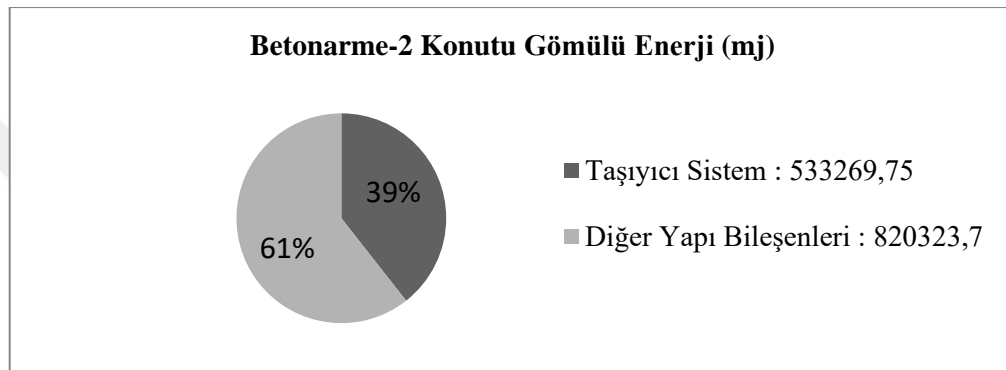
Şekil.3.44. Yapı malzemelerinin Betonarme-2'deki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması



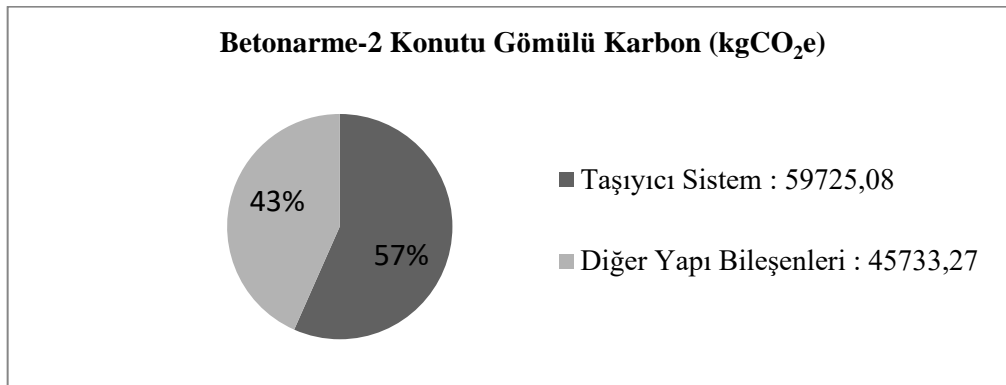
Şekil.3.45. Yapı malzemelerinin Betonarme-2'deki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması

Şekil 3.44'e göre Betonarme-2 alternatifinde gömülü enerjisi en yüksek yapı malzemeleri ahşap lambri, çelik donatı ve beton olmuştur. Gömülü karbon değeri en yüksek malzemeler ise beton ve çelik donatı olmuştur.

Şekil 3.46 ve 3.47'deki grafiklere göre taşıyıcı sistem toplam gömülü enerjinin %39'unu oluşturmaktadır. Gömülü karbon oranlarına bakıldığında ise taşıyıcı sistemin toplam gömülü karbonun %57'sinden sorumlu olduğu görülür.



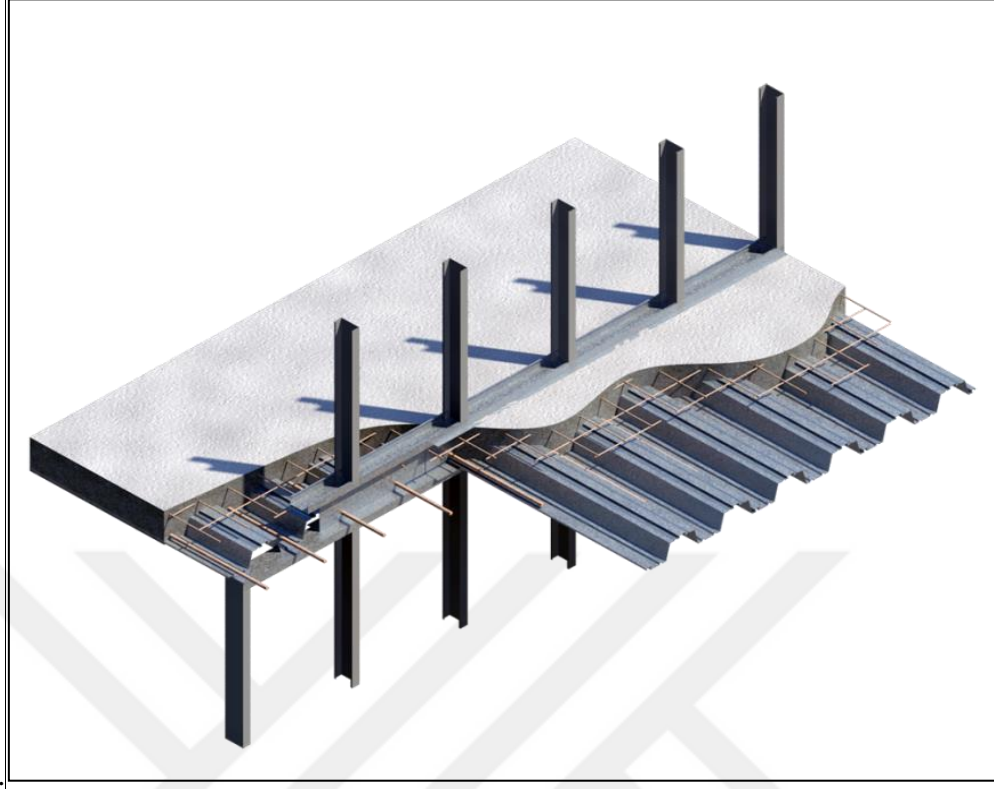
Şekil.3.46. Betonarme-2 alternatifinin taşıyıcı sisteminin gömülü enerjisinin toplam gömülü enerji ile karşılaştırılması



Şekil.3.47. Betonarme-2 alternatifinin taşıyıcı sisteminin gömülü karbon değerinin toplam gömülü karbon ile karşılaştırılması

3.2.3. Çelik Konutun Gömülü Enerjisi ve Gömülü Karbon Değeri

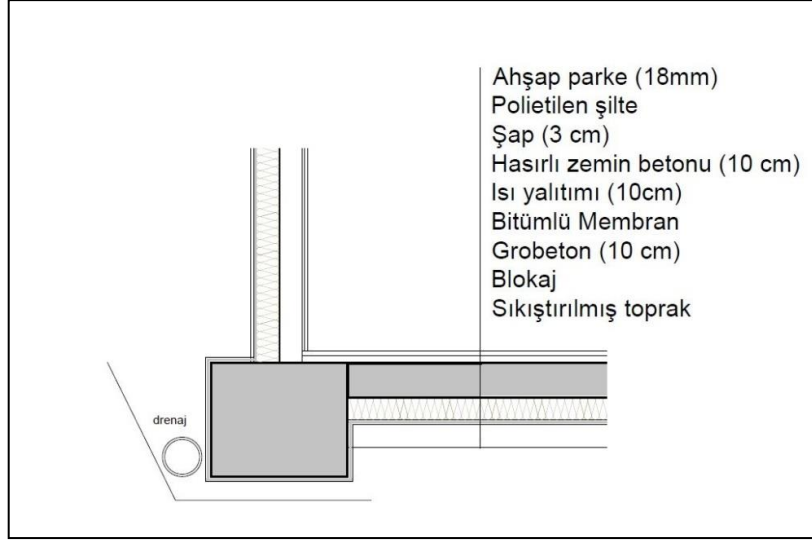
Çelik konut alternatifi , betonarme iki yöne sürekli temel üzerine çelik I profil kolon ve kirişlerden meydana gelmektedir. Kat döşemesinde çelik trapez sac üzerine beton uygulaması ile oluşturulan kompozit döşeme tipi seçilmiştir (Şekil 3.48). Çatı konstrüksiyonu çelik profillerle tasarlanmış, kiremit çatı kaplaması ile bitirilmiştir.



Şekil 3.48. Kompozit döşeme detayı (<http://www.metek.co.uk/solutions/floors-roofs/#concrete>)

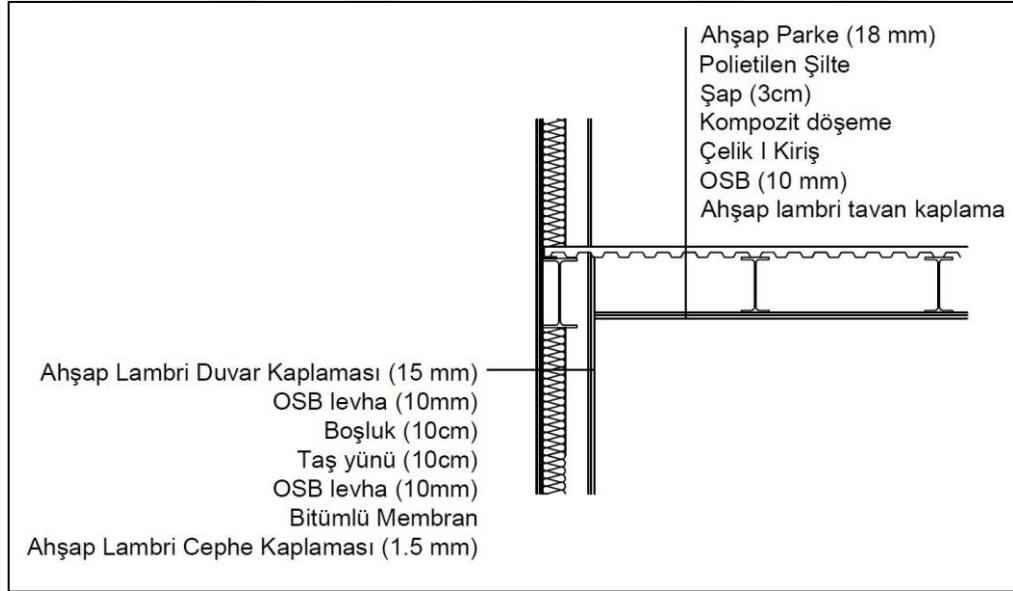
Kompozit döşemeler çelik konstrüksiyonlu yapılarda kullanılan bir döşeme çeşididir. Trapez sac, çelik hasır ve betonla imal edilmektedir. Trapez sac; beton tasarrufu sağlamak, beton dökme işlemi sırasında kalıp görevi görmek ve beton ile birlikte kompozit olarak çalışarak gelen yükleri taşımak amacıyla kullanılan bir yapı elemanıdır. Çelik hasır, kompozit döşemede donatı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Son olarak bu sistemin üzerine dökülen ince bir beton tabakası ile döşeme tamamlanmaktadır.

Şekil 3.49'da çelik konut alternatifinin temel detayı yer almaktadır. Çelik konstrüksiyonlu konutun hafif bir yapı olması sebebi ile iki yöne sürekli temel tercih edilmiştir. Grobetonun üzerine sırasıyla su yalıtımı, ısı yalıtımı ve zemin betonu uygulanmıştır. Çimento esaslı şap ile yüzey düzeltme işlemi yapılarak şilte üzerine ahşap parke döşeme kaplaması ile döşeme bitirilmiştir.



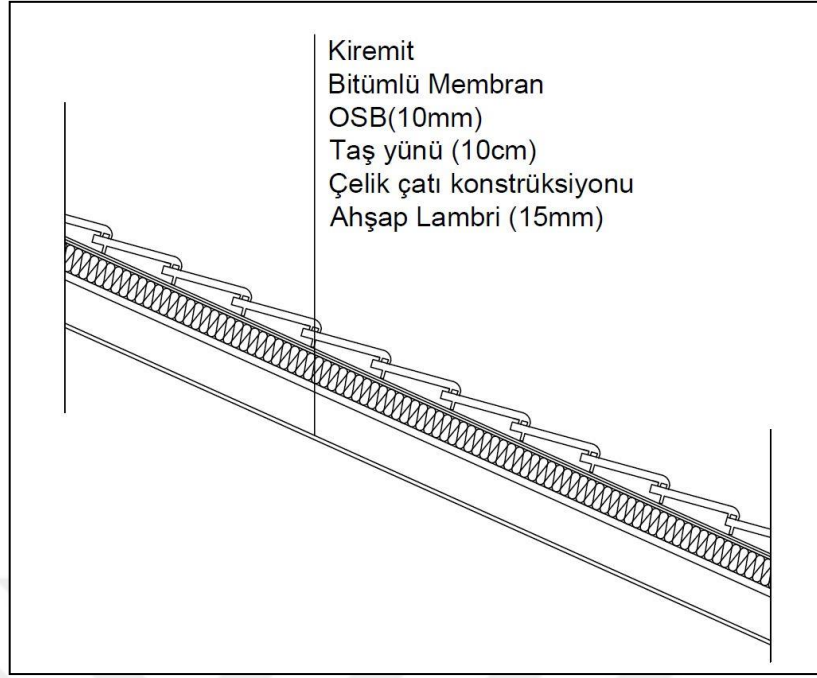
Şekil 3.49. Çelik konutun temel detayı

Dış duvarlarda iki osb panel arasına taş yünü uygulaması yapılarak dış cepheden bitümlü membran ile su yalıtımı sağlanmıştır (Şekil 3.50). Bölücü iç duvarlarda ise yine osb levha ve duvar kaplaması olarak orijinal projedeki gibi ahşap lambri kullanılmıştır. Dış cephe de benzer şekilde ahşap lambri ile bitirilmiştir.



Şekil 3.50. Çelik konutun dış duvar ve döşeme detayı

Şekil 3.51’de çelik konut için planlanan çatı detayı gösterilmiştir. Ahşap projede lamine kirişler üzerinde kurgulanan lambri yüzey, çelik alternatifte çelik çatı kirişlerinin örtülmesi amacı ile çatı kirişlerinin altında kaplama elemanı olarak kullanılmıştır.

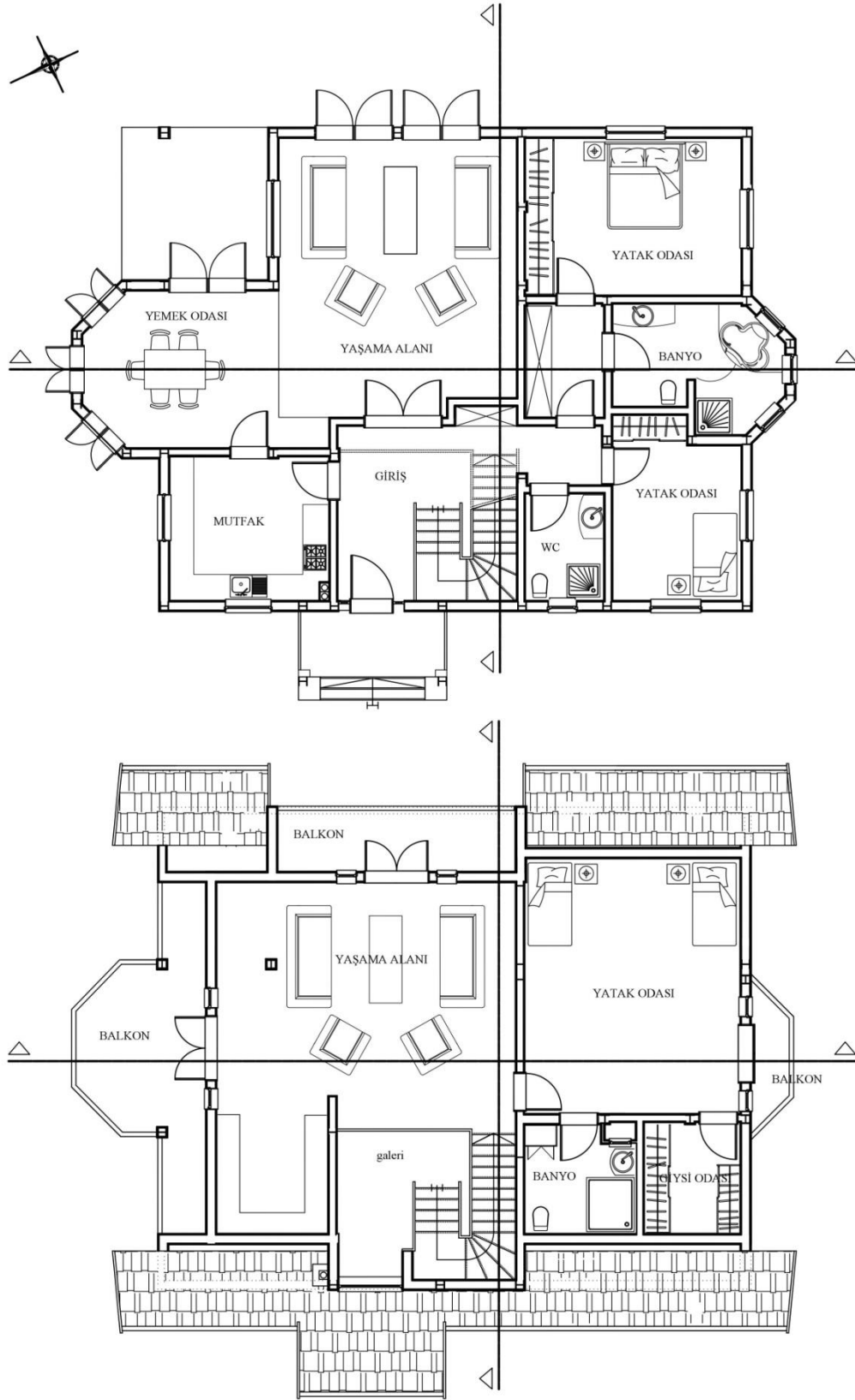


Şekil 3.51. Çelik konutun çatı detayı

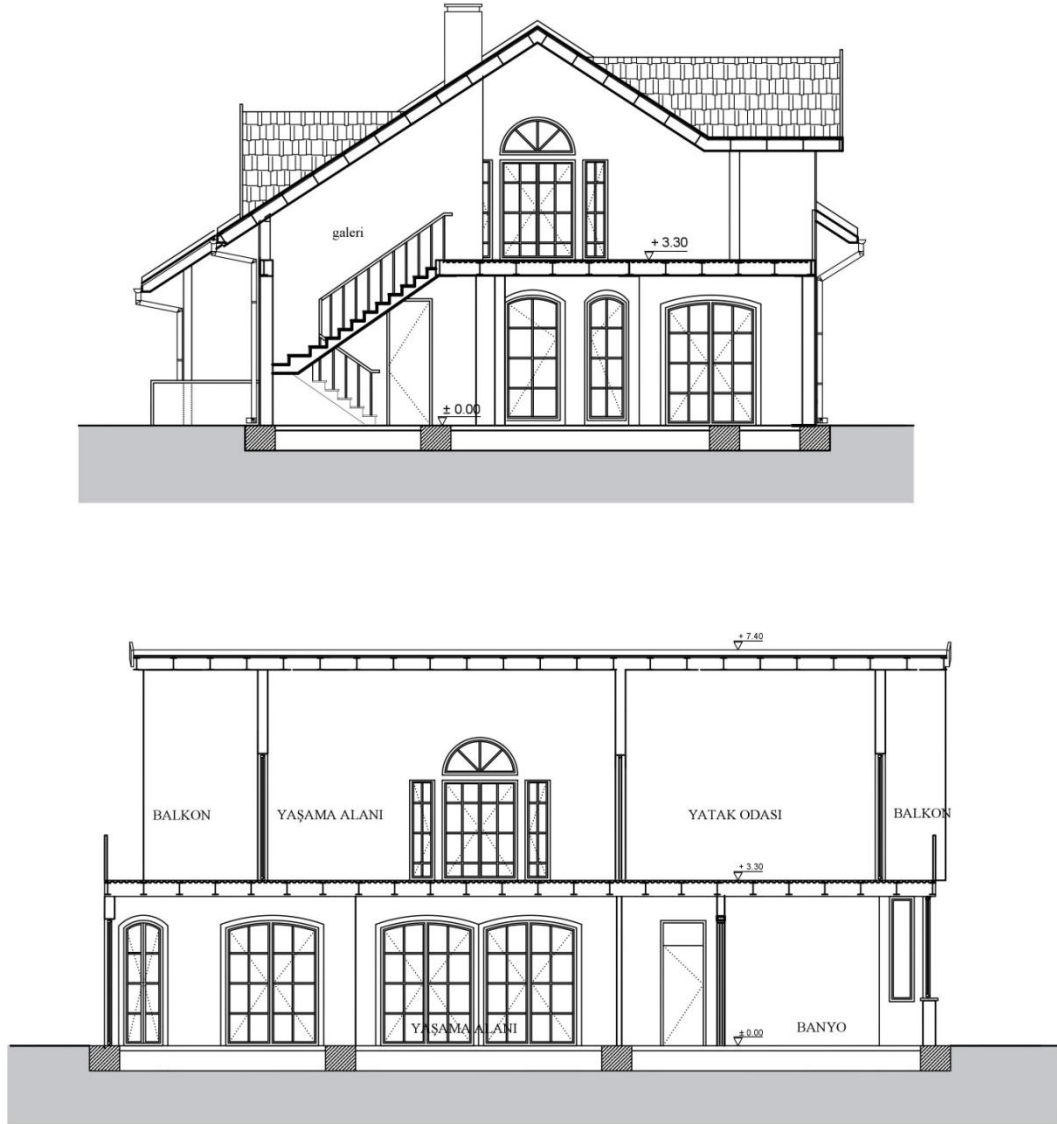
Çelik konutun ana yapı elemanlarında kullanılan malzemeler Çizelge 3.6'da özetlenmiştir. Çelik konutun planları ve kesitleri Şekil 3.52'de ve Şekil 3.53'te görülmektedir.

Çizelge 3.6. Çelik konutun ana yapı elemanlarının malzemeleri

Çelik Konut	
Yapı Elemanı	Yapı Malzemesi
Temel	Betonarme Sürekli Temel
Kolon	Çelik
Kiriş	Çelik
Döşeme	Çelik+Betonarme (Kompozit)
Duvar	Çelik Dikme+OsB
Çatı	Çelik Taşıyıcılar + Kiremit
Pencere	Ahşap Kasa + Cam
Kapı	Ahşap Kasa ve Kanat



Şekil 3.52. Çelik konut planları

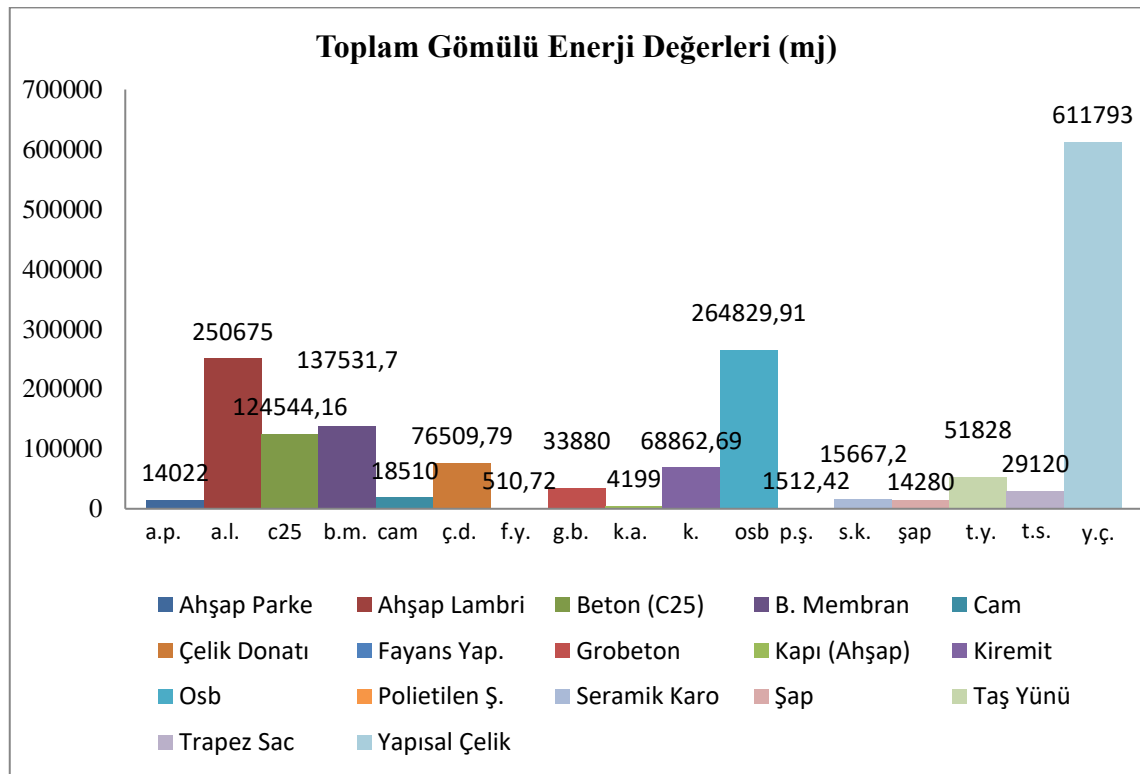


Şekil 3.53. Çelik konut kesitleri

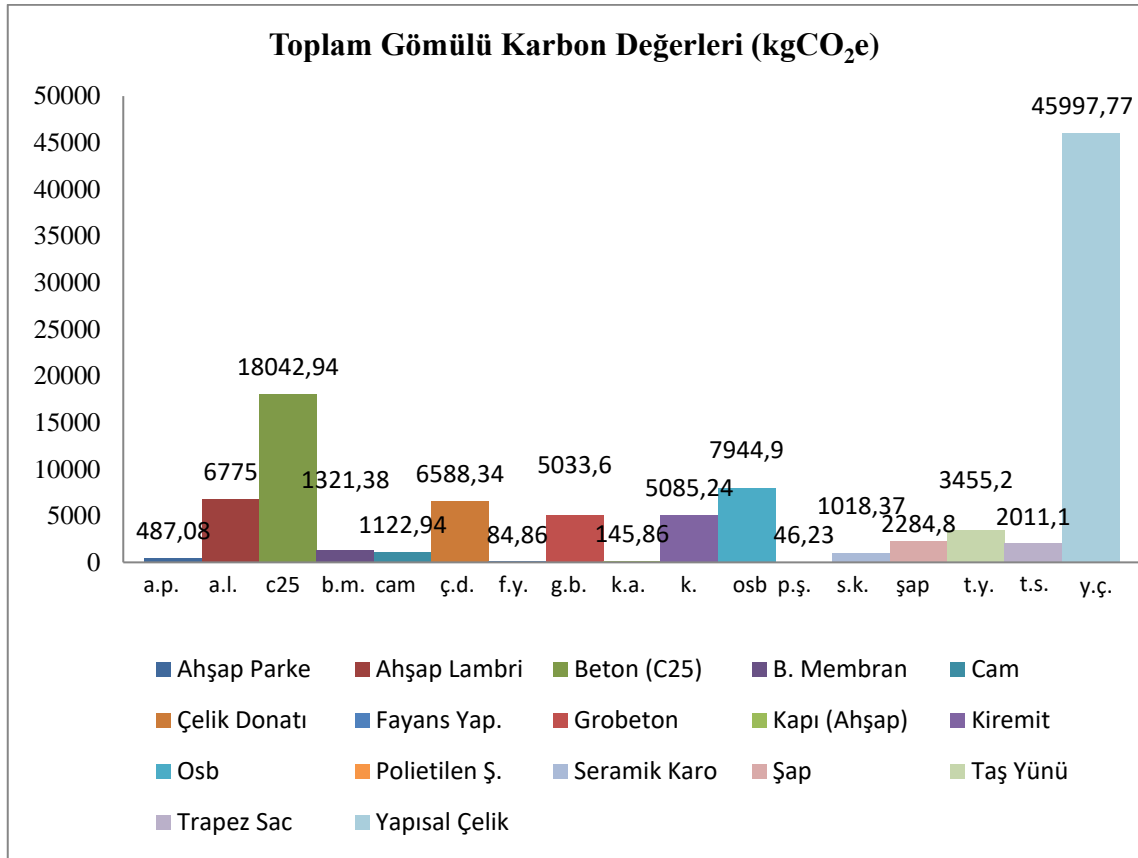
Çizelge 3.7’de çelik konutta kullanılan malzemeler, kilogram biriminden yapıda kullanılan miktarları, birim gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri verilmiş, birim değerlerle çarpılan miktarlar listelenmiştir. Son olarak toplam gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri tablonun toplam satırında belirtilmiştir. Şekil 3.54 ve Şekil 3.55’te yapı malzemelerinin gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri sütun grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.7. Çelik konutun malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri

Yapı Malzemeleri	Metraj (kg)	G.E. (Mj/kg)	G.E. (Mj)	G.K. (kgCO ₂ e/kg)	G.K. (kgCO ₂ e)
Ahşap Parke	1476,00	9,50	14022,00	0,330	487,08
Ahşap Lambri	33875,00	7,40	250675,00	0,200	6775,00
Beton C25	159672,00	0,78	124544,16	0,113	18042,94
Bitümlü Membran	2.696,70	51	137531,70	0,490	1321,38
Cam	1234,00	15,00	18510,00	0,910	1122,94
Çelik Donatı + Çelik Hasır	3542,12	21,60	76509,79	1,860	6588,34
Fayans Yap. (Çimento Esaslı)	384,00	1,33	510,72	0,221	84,86
Grobeton	48400,00	0,70	33880,00	0,104	5033,60
Kapı (Ahşap)	442,00	9,50	4199,00	0,330	145,86
Kiremit	10594,26	6,50	68862,69	0,480	5085,24
Os b	17655,33	15,00	264829,91	0,450	7944,90
Polietilen Şilte	18,20	83,10	1512,42	2,540	46,23
Seramik Karo	1305,60	12,00	15667,20	0,780	1018,37
Şap	16800,00	0,85	14280,00	0,136	2284,80
Taş Yünü	3085,00	16,80	51828,00	1,120	3455,20
Trapez Sac	910,00	32,00	29120,00	2,210	2011,10
Yapısal Çelik	22659,00	27,00	611793,00	2,030	45997,77
TOPLAM			1718275,59		107445,61
G.E. = Gömülü Enerji, G.K. = Gömülü Karbon					
NOT : Yapının taşıyıcı sistemini oluşturan malzemeler kalın fontla gösterilmiştir.					

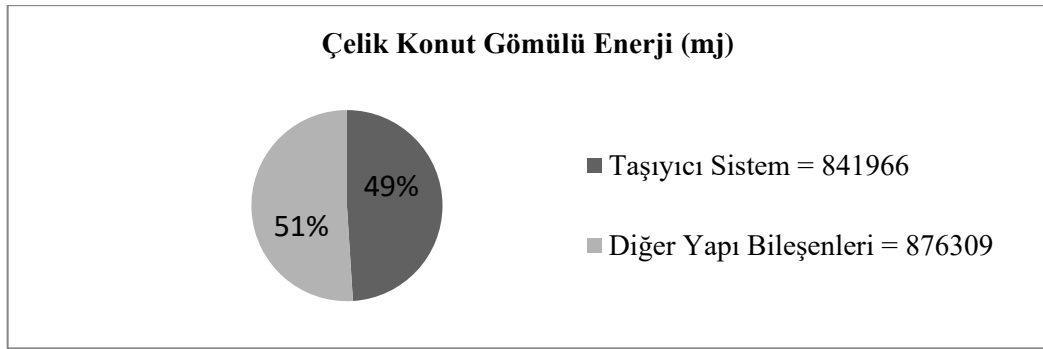


Şekil.3.54. Yapı malzemelerinin çelik konuttaki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması



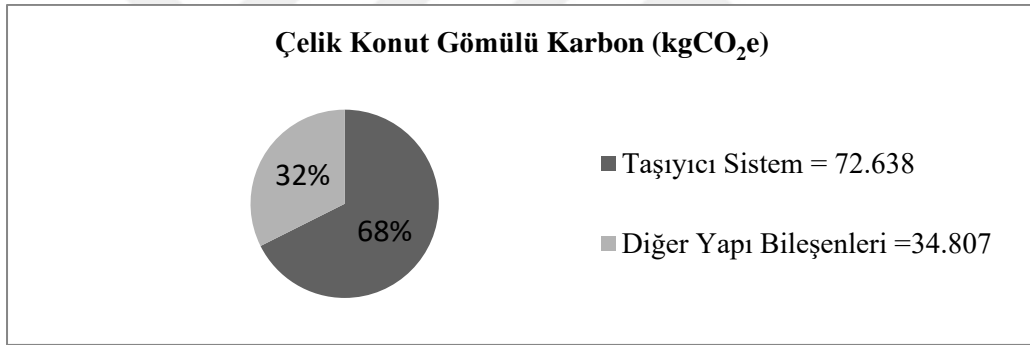
Şekil.3.55. Yapı malzemelerinin çelik konuttaki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması

Çelik strüktür grafiklerde görüldüğü üzere diğer malzemelere oranla fazla enerji tüketmektedir ve o oranda karbon emisyonları da fazladır. Çelik yapı malzemeleri için ICE veri setinde farklı ölçüler bulunmaktadır. Bu çalışma için seçilen birim değerler dünya ortalaması için verilmiş olan “%39 oranlı geri dönüştürülmüş çelik” tir. Çelik malzeme içindeki geri dönüştürülmüş katkı oranı arttıkça gömülü enerji miktarı da o ölçüde düşecektir. Öyle ki yine veri setinde yer alan %59 oranlı geri dönüştürülmüş çeliğin (İngiltere ortalaması için verilmiştir) birim gömülü enerji değeri 21 mj iken, %39 oranlı çeliğin birim değeri 27 mj’dur. Benzer şekilde gömülü karbon oranları da %59’luk geridönüşümlü çeliğin 1.53 kgCO₂e iken, %39’luk geri dönüşümlü çeliğin birim değeri 2.03 kgCO₂e’dir. Bu sonuçlara göre ülkelerin geri dönüştürülmüş çeliği yeniden kullanma oranları arttıkça yerel veri tabanlarındaki beşikten kapağa değerler o ölçüde düşecektir.



Şekil.3.56. Çelik konutta taşıyıcı sistemin gömülü enerji değerinin toplam gömülü enerji ile karşılaştırılması

Çelik konutun gömülü karbon ve gömülü enerjisinin taşıyıcı sistem ve diğer yapı bileşenlerinin birbirine oranı Şekil 3.56 ve 3.57'deki pasta grafiklerde ifade edilmiştir. Çelik konutun gömülü enerjisinin %49'u taşıyıcı sistemden kaynaklanmaktadır.



Şekil.3.57. Çelik konutta taşıyıcı sistemin gömülü karbon değerinin toplam gömülü karbon ile karşılaştırılması

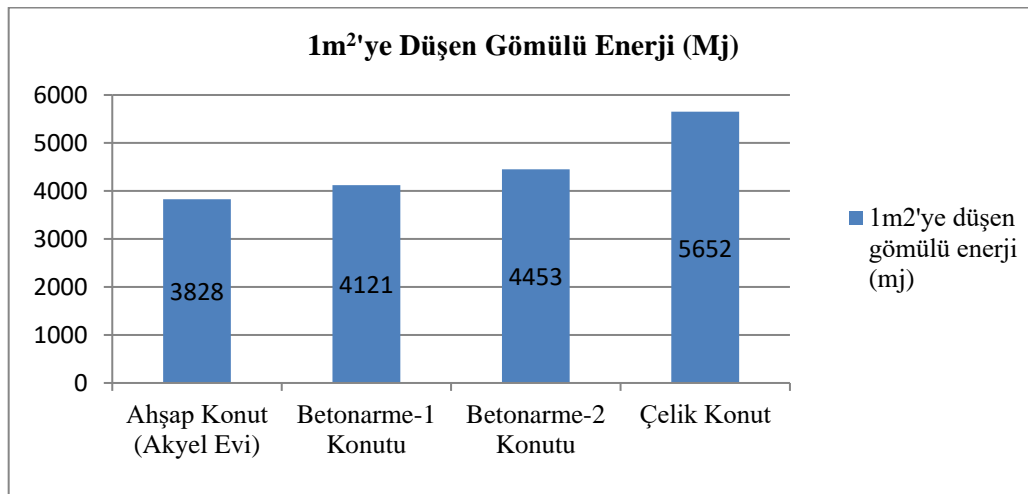
Şekil 3.57'deki ikinci pasta grafikteki gömülü karbon değerlerine bakıldığında da karbon salınımının %68'inin taşıyıcı sisteme ait olduğu görülmüştür.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

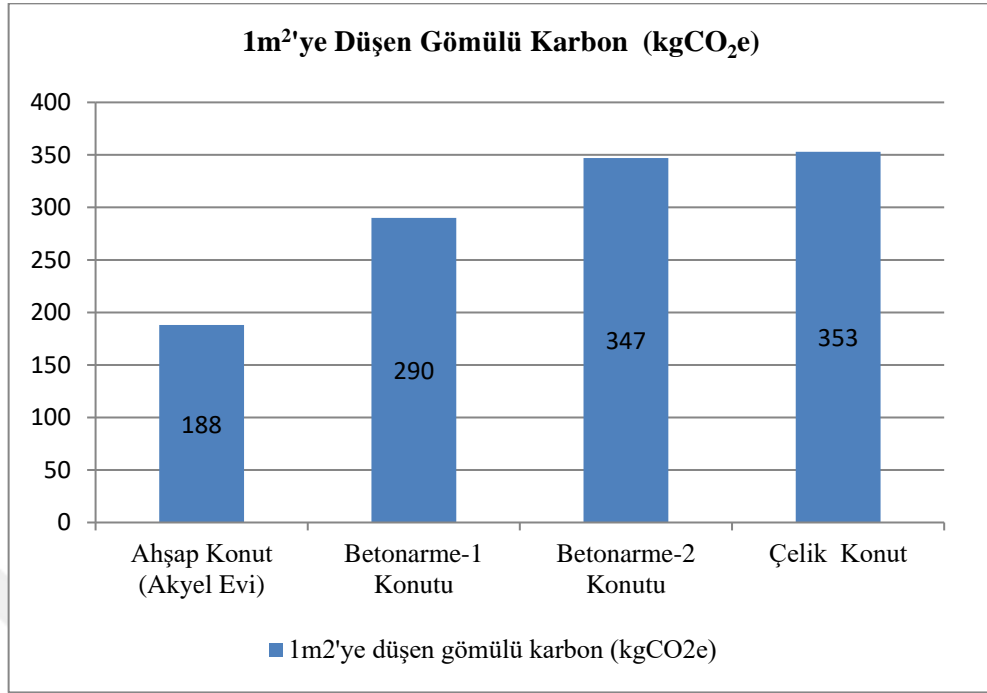
Tezin üçüncü bölümünde alan çalışması için seçilen ahşap konut tanıtılmış, ahşap konutun betonarme ve çelik konstrüksiyonlu alternatifleri oluşturulmuş, gömülü enerji ve gömülü karbon bağlamında değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirme için Hammond ve Jones tarafından oluşturulmuş YDD tabanlı bir veri seti olan ICE veri seti kullanılmıştır. Binaların inşasında kullanılan başlıca yapı malzemelerinin miktarları kilogram cinsinden hesaplanarak bu malzemelerin “beşikten kapağa” tükettikleri enerji megajul cinsinden, karbon emisyonu ise karbondioksit eşdeğeri cinsinden sayısal verilerle ortaya konmuştur.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2016 yılında yayınlanan “Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı” isimli raporunda metrekare başına düşen çevresel etkilerin hesaplanmasını hem nihai tüketiciye kolaylıkla anlatılması, hem de Türkiye’nin Kyoto Protokolü nezdinde iklim değişikliği ile mücadele hedeflerine katkıda bulunacak bir altyapı oluşturması bakımından teşvik edilmektedir. Üç farklı yapıım sisteminin ayrı ayrı değerlendirildiği üçüncü bölümde elde edilmiş veriler, bu bölümde metrekare başına düşen değerler bazında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

304 m² toplam inşaat alanından meydana gelen konutun toplam gömülü karbon ve gömülü enerjisinin metrekare düzeyine indirgenmiş değerleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görülmektedir.

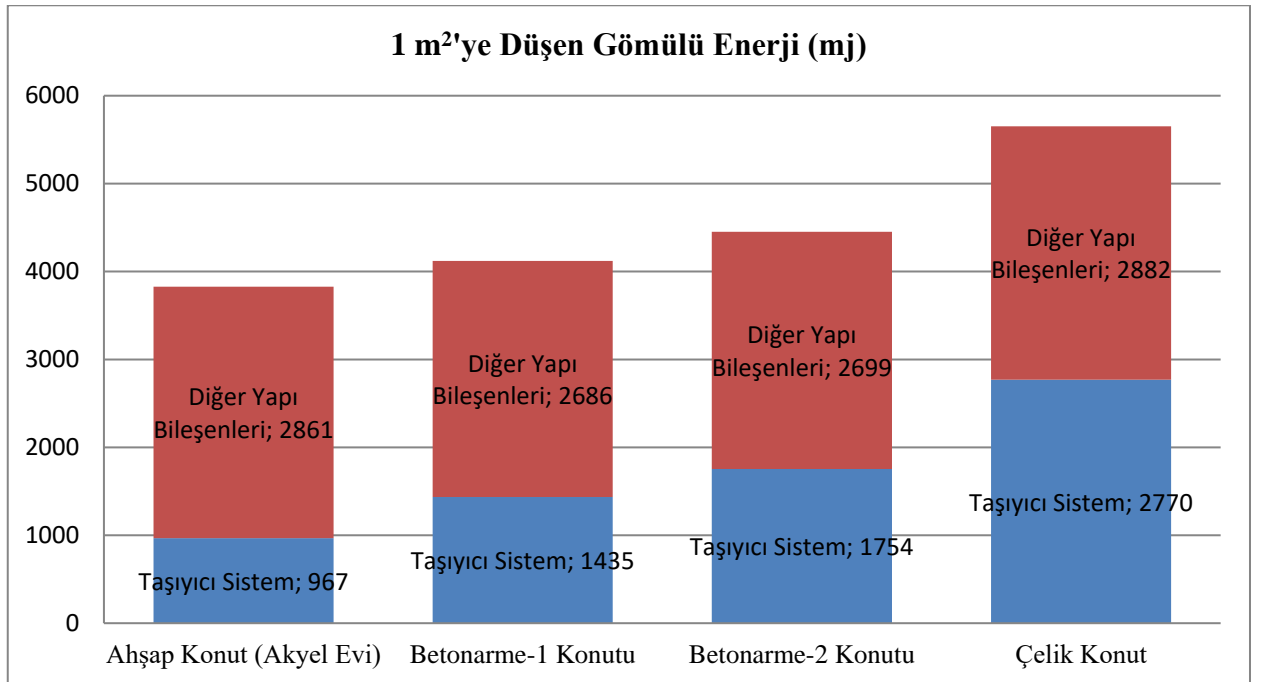


Şekil.4.1. 1 metrekareye düşen gömülü enerji değerleri

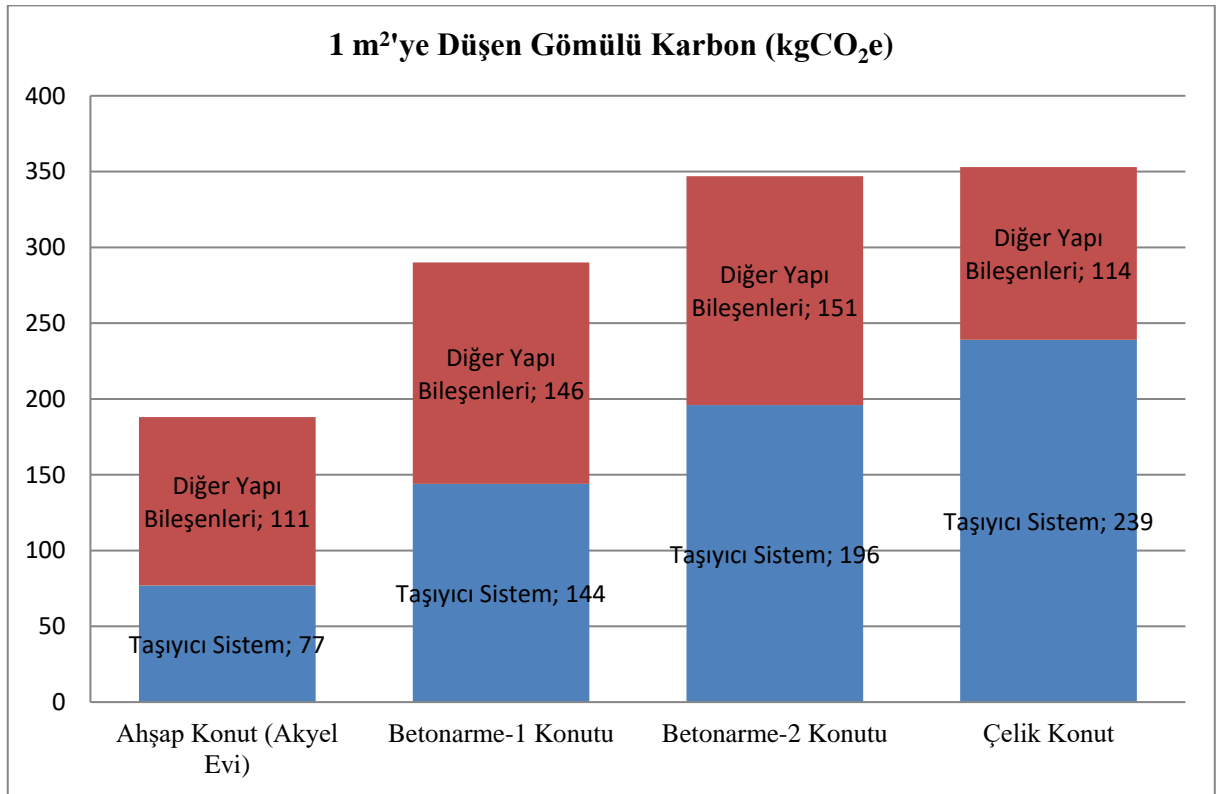


Şekil.4.2. 1 metrekareye düşen gömülü karbon değerleri

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te m²'ye düşen gömülü enerji ve gömülü karbonun taşıyıcı sistemden kaynaklanan kısmı mavi renkle ve diğer yapı bileşenlerinden kaynaklanan bölümü kırmızı renkle ifade edilmiştir.



Şekil.4.3. 1 metrekareye düşen gömülü karbon değerleri



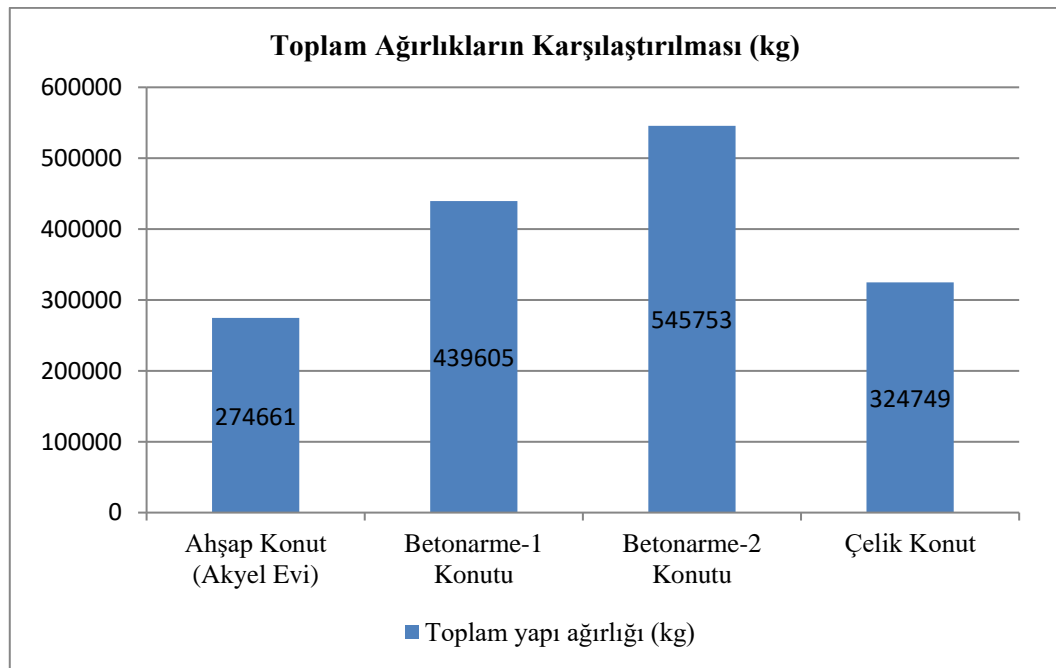
Şekil.4.4. 1 metrekareye düşen gömülü karbon değerleri

Karşılaştırmalar sonucu elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir :

- Ahşap konutun 1 metrekaredeki gömülü enerjisi 3.828 mj, betonarme-1 konutunun 4.121 mj, betonarme-2 konutunun 4.453 mj, çelik konutun 5.652 mj olarak elde edilmiştir. Bu bağlamda en az gömülü enerjiye sahip alternatif ahşap konut olmuştur. Onu betonarme alternatifler ve çelik konut izlemiştir.
- Ahşap konutun 1 metrekaredeki gömülü karbon değeri 188 kgCO₂e, betonarme-1 konutunun 290 kgCO₂e, betonarme-2 konutunun 347 mj, çelik konutun 353 kgCO₂e olarak elde edilmiştir. Bu verilere göre en az karbon salınımına neden olan alternatif yine benzer şekilde ahşap konut olmuştur. Onu betonarme alternatifler ve çelik konut izlemiştir.
- Taşıyıcı sistemlerin gömülü enerjideki paylarını gösteren Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'ten elde edilen bulgulara göre ahşap konutta taşıyıcı sistem gömülü enerjinin

%25'inden sorumludur. Yapının toplam gömülü karbon değerinin ise %41'ini taşıyıcı sistem oluşturmaktadır.

- Betonarme-1 konutunun gömülü enerjisinin %35'i taşıyıcı sistemden kaynaklanmaktadır. Gömülü karbon değerlerine bakıldığında ise karbon salınımının %50'sinin taşıyıcı sisteme ait olduğu görülmüştür.
- Betonarme-2 konutunun gömülü enerjisinin %39'unu taşıyıcı sistem oluşturmaktadır. Toplam gömülü karbon değerinin %57'si de taşıyıcı sistemden kaynaklanmaktadır.
- Çelik konutun gömülü enerjisinin %49'u taşıyıcı sistemden kaynaklanmaktadır. Karbon salınımının da %68'inin çelik strüktüre ait olduğu görülmüştür.
- Yapıların toplam ağırlıklarının karşılaştırılması Şekil 4.5'te verilmiştir. En ağır konut tipi betonarme-2 konutu olmuştur. Sırasıyla betonarme-1 konutu, çelik konut ve ahşap konut onu izlemiştir. Tez çalışması kapsamında incelenen başlıca yapı malzemelerinin toplam ağırlığı ahşap konutta 274.661 kg, betonarme-1 konutunda 439.605 kg, betonarme-2 konutunda 545.753 kg ve çelik konutta 324.749 kg olmuştur. Bu verilere göre en hafif alternatif ahşap konut olmuştur.



Şekil.4.5. Toplam ağırlıkların karşılaştırılması

Bu bulgular ışığında ahşap yapım sisteminin az katlı konut üretiminde hem “beşikten kapıya” tüketilen enerji (binanın gömülü enerjisi), hem de karbon emisyonları bazında en sürdürülebilir sistem olduğu görülmüştür. Betonarme ve çelik alternatifler ahşap strüktüre göre yüksek karbon emisyonu değerleri vermişlerdir. Üretim enerjileri kıyaslanırken alternatifler arasındaki fark çok yüksek olmasa da gömülü karbon değerlerindeki karşılaştırma belirgin farklar ortaya koymuştur. Ahşap konutla kıyaslandığında betonarme-1 konutu 1,5 kat, betonarme-2 konutu 1,8 kat daha fazla karbon salınımına neden olmaktadır. Betonarme-1 konutunun çatı katında ahşap strüktür kullanılması betonarme-2 konutuna göre daha iyi bir çevresel performans elde edilmesini sağlamıştır. Çelik konut ise ahşap konuttan yaklaşık 1,9 kat daha fazla karbon salınımına neden olmaktadır. Bir başka deyişle çelik konutun küresel ısınma potansiyeli ahşap konuta göre neredeyse 2 kat fazladır.

Ahşap konutta -binanın mimarları ile yapılan görüşmede aktarılmıştır- yapı sahibinin isteği doğrultusunda dış duvarlar olması gerekenden daha kalın tasarlanmıştır. Dolayısı ile ahşap taşıyıcı kesitleri özellikle fazla tutulmuştur. Bu da karbon salınımı miktarını ve gömülü enerji değerlerini doğrudan etkilemiştir. Standart boyutlarda tasarlanmış bir ahşap strüktür kullanımının söz konusu olması, ahşap konutun çevresel değerlerinin daha da düşmesini sağlayacaktır.

Yapı ağırlıkları karşılaştırıldığında en hafif alternatif ahşap konut olmuştur, çelik konut, ahşaba ağırlıkça en yakın alternatif olmuştur ve 1,2 kat daha ağırdır. Betonarme-2 konutu, ahşaba göre yaklaşık 2 kat daha fazla olmak üzere en ağır alternatif olmuştur. Betonarme-1 konutu ise ahşap konuta oranla 1,6 kat daha ağırdır. Yapı ağırlıkları sadece çevresel etkiler bağlamında değil deprem yükleri açısından da oldukça önemlidir. Ünlü Newton prensibine göre kuvvet ivme ile kütlenin çarpımına eşittir. Bina özelinde de binaya etki edecek deprem kuvveti, depremin ivmesi ile yapının ağırlığının çarpımıdır. Yani yapı ağırlaştıkça depremden daha çok etkilenecektir. Bu açıdan da ahşabın avantajı açıkça görülmektedir.

Çelik strüktürler betonarme sisteme göre daha hafif olmasına rağmen çelik üretiminin gömülü enerjisinin yüksek olmasından dolayı yüksek karbon salınımına neden olmaktadır. Çelik malzeme geri dönüşümü en verimli yapılan malzemelerdendir ve tekrar tekrar geri dönüştürülebilmektedir. Yeni hammadde çıkarımını azaltarak ve

elik retimindeki geri dönüştürülmüş malzeme miktarını arttırarak birim gömülü enerjinin düşürülmesi mümkündür. Bu da daha çevreci sonuçlar elde edilmesine yardımcı olacaktır.

Tüm bu bulgular sonucunda hem düşük ağırlık, hem düşük üretim enerjisi hem de düşük karbon salınımı avantajıyla az katlı konut bağlamında ahşap taşıyıcı sistemlerin en sürdürülebilir alternatif olduğu gözlemlenmiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnsanlığın %50'si kentlerde yaşamakta ve kentler halihazırda dünya enerjisinin %75'ini tüketmektedir (Tanaçan, 2012). Kentsel yaşam biçimimizin bir sonucu olarak ortaya çıkan küresel ısınma ve iklim değişikliği günümüzde devletler ölçeğinde tedbirler alınacak kadar ciddi bir düzeye gelmiştir. Bu konuda protokoller oluşturulmakta, konferanslar düzenlenmekte, çevre raporları hazırlanmaktadır. Yapı sektörü de bu çevre probleminin sorumlularından biridir. Öyle ki, binalar ve inşaat sektörü küresel enerji kullanımının %36'sını ve enerji kullanımı kaynaklı karbondioksit emisyonlarının %39'unu oluşturmaktadır (UNEP, 2017). Ayrıca bu enerji kullanımına paralel olarak ortaya çıkan toplam atıkların %35'i inşaat sektörü kaynaklıdır (ETKB, 2016). Bu oranlar elbette göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür ve yapı sektöründe bu konuda iyileştirme yapılması kaçınılmazdır.

Ülkemizde bu konudaki çalışmalar yapıların operasyonel enerjilerine (yapının kullanım ömrü boyunca tükettiği enerji) yoğunlaşmış durumdadır. Ancak binalarda kullanılan yapı malzemelerinden kaynaklanan gömülü enerji konusu yeni yeni gündeme gelmektedir. Türkiye'de bu konuda herkesin erişimine açık yerel bir envanterin bulunmaması, konu ile ilgili bilgi yetersizliği bunun sebeplerinden bazılarıdır. Ülkemizde gömülü enerjiyi ölçen yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi ile ilgili akademik çalışmaların başlaması 2000'li yılların başlarına rastlar (ETKB, 2016). Günümüzde ise hızlanarak devam etmektedir.

YDD ile erken tasarım evrelerinde malzeme kaynaklı emisyonların biliniyor olması, tasarımın daha çevreci bir anlayışla yapılmasına olanak tanımaktadır. Yapıların gömülü enerjilerini azaltmada taşıyıcı sistem seçimi büyük rol oynamaktadır çünkü yapının diğer bölümlerine kıyasla en çok malzeme kullanılan kısmı taşıyıcı sistemlerdir.

Türkiye özelinde bakarsak yapı stoğumuzda en büyük pay betonarme binalarıdır. Çelik yapılar betona oranla hafif olması sebebiyle daha az deprem yükü alması avantajı ile az da olsa konut üretiminde kullanılmaktadır. Ahşap yapılar ise en az tercih edilen taşıyıcı sistemdir. Bunun başlıca sebepleri; ahşap teknolojisinde dünyaya kıyasla geride olmamız, üniversitelerde bu konuda yeterince güncel eğitim verilmemesi ve yönetmeliklerin çağın gerisinde kalmasıdır (UAB, 2013).

Tez çalışmasında bu üç farklı yapım sistemi mimari tasarımı aynı kalacak şekilde çevresel boyutta karşılaştırılmıştır. Çalışmanın kapsamı yapının gömülü enerjisi ve gömülü karbon değerleri ile sınırlandırılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre ahşap konut metrekare bazında en az gömülü enerji ve en az gömülü karbona sahip alternatif olmuştur. Onu betonarme konut ve çelik konut takip etmiştir. Beton yapı malzemesinin kilo başına düşen gömülü enerji katsayısı düşük olmasına karşın yapıda kullanılan miktarı fazla olduğundan toplam gömülü enerjisi ve karbon emisyonları yüksek olmaktadır. Yapısal çeliğin ise betona oranla hafif olmasına karşın kilo bazında gömülü enerji ve gömülü karbon katsayısı yüksektir. Bu sebeple emisyon değerleri fazladır.

Sürdürülebilir bir yapılı çevre için ülkemizdeki sektörel tüm engellere rağmen, bu denli çevreci sonuçlar veren ahşap taşıyıcı sistem kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Özellikle az katlı yapılar bağlamında ahşap taşıyıcı sistemin kullanılması teşvik edilmelidir. Bunun için öncelikle bu konudaki karar vericiler olan mimar ve mühendisler güncel ahşap yapı üretimi konusunda daha nitelikli bir eğitim almalı ve kullanıcıları bu konuda teşvik etmelidirler.

Bu konuda yapılabilecek gelecek çalışmalar;

- Yapının gömülü enerjisi ile birlikte operasyonel enerjisi de beraber ele alınarak yapının yaşam döngüsü boyunca tükettiği enerjinin taşıyıcı sistemler bağlamında bütüncül olarak değerlendirilmesi yapılabilir.

-Ahşap yapım sisteminin çevresel avantajları maliyet faktörü ile birlikte ele alınarak uygulanabilirliği bir örnek üzerinden araştırılabilir.

- Beton ve çelik yapılarda karbon emisyonunu düşürecek yöntemlerin örnek durum üzerinden incelenmesi söz konusu olabilir.

KAYNAKLAR

Adalberth, K., Energy use during the Life Cycle of Buildings: a Method, *Building and Environment*, 32(4), 317-320.

Alkaya, E., Böğürçü, M., Ulutaş, F., 2012, Yaşam döngüsü analizi ve bina ısı yalıtım malzemeleri için uygulamalar, *Çevre Bilim & Teknoloji*, 3(4), 261-274.

Anonymous, 2019, The circularity gap report [online], <https://www.circularity-gap.world/> [23 Kasım 2019] .

Avlar, E., Karaçar Ercoşkun, P., 2012, Türkiye Yapı Sektöründe Tutkallı Tabakalı Ahşap Teknolojisinin Benimsenmeme Nedenlerinin Ercoşkun Modeli ile Değerlendirilmesi, *Megaron*, 7(1), 67-76.

Benli Yıldız, N. (2017), Cam elyaf takviyeli beton (gfr) cephe panelleri için yaşam döngü değerlendirme (YDD) yöntemiyle bir sürdürülebilirlik çerçevesi geliştirilmesi, Doktora tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce.

Birleşmiş Milletler, 1998, Birleşmiş milletlerin iklim değişikliği çerçeve sözleşmesine yönelik Kyoto protokolü, *BM*, Kyoto.

Brander, M., 2012, Greenhouse Gases, CO₂, CO_{2e}, and Carbon : What Do All These Terms Mean? [online], <https://ecometrica.com/assets/GHGs-CO2-CO2e-and-Carbon-What-Do-These-Mean-v2.1.pdf> [3 Kasım 2019] .

Canan, F., Bakır, İ., 2008, Enerji ve çevre etkin bina tasarımında ömür süreci analizi yönteminin değerlendirilmesi, *Teknik-Online Dergisi*, 7(2).

Chau, C.K., Leung, T.M., Ng, W.Y., 2015, A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings, *Applied Energy*, 143, 395–413.

Ching, F.D.K., Adams, C., 2006, Çizimlerle bina yapım rehberi, *Yem Yayın*, İstanbul.

Curran, M. A., 2006 , Life cycle assessment: principles and practice, *EPA, Ohio*.

Çakır, G., 2012, Yapısal atıkların geri dönüşümünün sürdürülebilir kalkınma bağlamında önemi, *Mimarlıkta Malzeme*, 2, 26-29.

DeWolf, C. (2017), Low carbon pathways for structural design: Embodied life cycle impacts of building structures , PhD Thesis, *Massachusetts Institute of Technology, USA*.

Ekinci, S., Eşsiz, Ö., 2005, Deprem bölgelerinde hafif çelik yapı sistemleriyle üretilen konutların uygulanabilirliği, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli.

Ellen MacArthur Foundation, 2013, Towards the circular economy, *EMF, UK*.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016, Bütünleşik bina tasarımı yaklaşımı - Türkiye ortamı ve koşullarına uyarlama raporu, *ETKB, Ankara*.

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

Gervasio, H. and Dimova, S., 2018, Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings, *EC EUR 29123 EN, European Union*.

Guan, L., Walmsely, M., Chen, G., 2015, Life Cycle Energy Analysis of Eight Residential Houses in Brisbane, Australia, *9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) and the 3rd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE), Australia*.

Hammond, G. P. and C. I. Jones (2008). "Embodied energy and carbon in construction materials." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy*, 161(2), 87-98.

<https://www.altensis.com/hizmetler/urun-surdurulebilirligi/lca-yasam-dongusu-degerlendirmesi/> [23 Kasım 2019].

<http://bloksan.com.tr/uygulama> [10 Kasım 2019].

<https://seagatestructures.com/common-misconceptions-of-wooden-building-construction/> [2 Kasım 2019].

<https://structuralengineeringbasics.com/what-are-beams-and-columns-building-construction/> [2 Kasım 2019].

<https://tr.pinterest.com/horseabuildings/steel-construction-frame-house/> [2 Kasım 2019].

<https://www.danleysgarageworld.com/building-garage-attic/> [20 Kasım 2019].

<https://www.google.com/maps> [3 Kasım 2019].

<http://www.icsusa.org/> [3 Kasım 2019].

<https://www.insaathaber.org/asmolen-doseme-disli-doseme/> [20 Kasım 2019].

<http://www.kmyapi.com/hizmetlerimiz/20/beton-uzeri-ahsap-cati> [20 Kasım 2019].

<http://www.metek.co.uk/solutions/floors-roofs/#concrete> [20 Kasım 2019].

<https://www.mfe.govt.nz/waste/circular-economy> [3 Kasım 2019].

<https://www.pbl.nl/> [6 Kasım 2019].

<https://www.storyboardthat.com/tr/storyboards/tr-examples/sera-etkisi> [20 Kasım 2019].

Kim, J.J., Rigdon B., 1998, Sustainable Architecture Module : Introduction to Sustainable Design, *National Pollution Prevention Center for Higher Education*, Michigan.

Koman, İ., Eren, Ö., 2006, Alternatif Sürdürülebilir Konut Uygulamaları ve Türkiye'deki Betonarme Konut Sektörü, *Mimarlık Dergisi*, 329.

Özçuhadar, T., (2007), Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji Etkin Tasarımın Yaşam Döngüsü Sürecinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Roaf, S., Fuentes, M. ve Thomas, S., (2001), Ecohouse: a Design Guide, *Architectural Press*,UK.

Tanaçan, L., 2012 Ekoloji, yaşam döngüsü değerlendirmesi ve malzeme, *Mimarlıkta Malzeme*, 1, 18-23.

TS EN ISO 14040 :2006, 2007, Çevre yönetimi - Hayat boyu değerlendirme - İlkeler ve çerçeve, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 15978, 2012, Yapılarda sürdürülebilirlik - Binaların çevresel performansının değerlendirilmesi - Hesaplama yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Ulusal Ahşap Birliği, 2013, Yapı Ahşabı ve Ahşap Yapı Sektörü Raporu, *UAB, İstanbul*.

United Nations Environmental Programme, 2017, Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector Global Status Report, *UNEP*.

World Wildlife Fund Türkiye, 2010, Türkiye'nin Yarınları Projesi Sonuç Raporu, *WWF-Türkiye*.

Yardımcı, N., 2005, Türkiye'de çelik yapılar, *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 435.

Yüceer, N.S., 2015, Yapıda çevre ve enerji, *Nobel Akademik Yayıncılık*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hatice Sena Azkur
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Üsküdar 29.03.1988
Telefon : 0530 391 21 38
e-mail : haticesena@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Hüseyin Avni Sözen And. Lis., Üsküdar, İst.	2006
Üniversite	: Y.T.Ü. Mimarlık Fak. Mim. Böl., Beşiktaş, İst.	2011

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2013	Era Mimarlık, İstanbul	Mimar
2013-2015	Ser Mimarlık, Konya	Mimar

YABANCI DİLLER

İngilizce

ÖDÜLLER

-UIA (Uluslararası Mimarlar Birliği) “Celebration of Cities 3” Uluslararası Yarışması Doğu Avrupa Birincilik Ödülü, 2009 (Adife Güzel ve Kadir Ekinci ile)

-4th Concrete Design Competition “Monolithic : Exploring Versatility” Uluslararası Yarışması Başarı Ödülü, 2010

-YTÜ Bitirme Projeleri Yarışması (Prof. Maruf Önal Anısına) Mansiyon Ödülü, 2011