

Farklı Taşıyıcı Sistemlerin Gömülü Enerji ve Gömülü Karbon Değerlerinin Müstakil Konutlar Bağlamında Karşılaştırılması

Hatice Sena AZKUR¹, Fatih CANAN²

¹Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 42250, Konya, Türkiye

²Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 42250, Konya, Türkiye

(Alınış / Received: 13.01.2021, Kabul / Accepted: 26.11.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Yaşam döngüsü
değerlendirmesi,
Gömülü enerji,
Gömülü karbon,
Sürdürülebilir mimarlık

Özet: Gömülü enerji, yapı malzemelerinin hammaddelerinin çıkarılması, üretimi, nakliyesi vb. süreçlerinde harcanan enerjinin toplamını ifade etmektedir. Gömülü karbon, malzemenin üretim süreci boyunca doğaya ne kadar sera gazı salındığının ölçüsüdür. Bu çalışmada yapının inşa öncesi evresine dikkat çekerek, bu süreçte tüketilen enerjinin ve doğaya yapılan karbon salınımının taşıyıcı sistemler bağlamında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu değerlendirme için gömülü karbon ve enerjiyi ölçen “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile yapıda kullanılan malzemelerin gömülü karbon ve gömülü enerjileri sayısal veriler şeklinde elde edilebilmektedir. Konya’da ahşap müstakil bir konut alan çalışması için seçilmiş, bu yapının farklı taşıyıcı sistemlerle (betonarme ve çelik) alternatifleri üretilerek çevresel etkileri karşılaştırılmıştır. Ahşap yapı, bu üç yapı sistemleri 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 müstakil konutlar bağlamında ahşap taşıyıcı sistemlerin en sürdürülebilir alternatif olduğu gözlemlenmiştir.

Comparison of embodied energy and embodied carbon values of different structure systems in the context of single-detached housing

Keywords

Life cycle assessment,
Embodied energy,
Embodied carbon,
Sustainable architecture

Abstract: Embodied energy represents the sum of the energy consumed during the process that includes extraction, production, transportation of building materials. Embodied carbon is the measure of how much greenhouse gas is released to the nature during the production process of the material. In this study it’s aimed to draw attention to the pre-construction phase of buildings and to evaluate the energy consumed and carbon emission in the context of structure systems. For the study “Life Cycle Assessment (LCA)” method which measures embodied carbon and energy is used. By the help of this method, embodied carbon and embodied energy of the materials used in the building can be obtained as numerical data. A wooden single-detached house in Konya was chosen as case study and alternatives created with different structural systems (reinforced concrete and steel structure) 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 single-detached housing with the advantage of both low production energy and low carbon emissions.

1. Giriş

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

*İlgili yazar: senaazkur@gmail.com

iklim değişikliği raporuna göre küresel ısınmanın neden olduğu sıcaklık artışının 2030 yılının sonuna kadar sınırlı kalacağı, ancak bu tarihten itibaren sıcaklıkların Türkiye ve Konya Havzası'nda hızla artacağı görülmüştür. Kış mevsimindeki artışların yer yer 4°C civarına, yaz mevsimindeki artışların ise 6°C'ye ulaşacağı öngörülmektedir [1]. Özetle Türkiye'nin yakın gelecekte daha sıcak, daha kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağı bilim insanlarının yaptığı modellemelerle ispatlanmıştır. Bu veriler ışığında toplam enerji tüketiminin %36'sından ve enerji tüketimi ile ilişkili karbondioksit emisyonlarının %39'undan sorumlu olan binalarda ve inşaat sektöründe iyileştirme yapmak ve daha çevreci yaklaşımlar benimsemek bir zorunluluk haline gelmiştir [2].

Yapılar sadece kullanım aşamasında değil üretim aşamasında da enerji tüketirler ve bir takım çevresel etkilere sebep olurlar; hammaddenin çıkarılması, şantiye alanına taşınması gibi durumlar fosil yakıtların kullanıldığı doğaya karbon salınımına neden olan süreçlerdir [3]. Yine benzer şekilde ömrünü tamamlayan yapının yıkımı sırasında bu etkiler gerçekleşir. Sonuç olarak yapının yalnızca kullanım aşamasında değil tüm yaşam döngüsünü kapsayan bir enerji tüketimi ve çevresel emisyonlar söz konusudur. Ürün ve malzemeden kaynaklanan bu etkilerin çok iyi bilinerek, güvenilir bir yöntemle ölçülmesi, karşılaştırılması, yayınlanması bir ihtiyaç haline gelmiştir; "Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD)" bu konuda standart bir yaklaşım olarak benimsenmiştir [4].

Binalarda 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 bina yapım evresine gelene kadar tükettiği enerjinin yaşam döngüsü boyunca tüketilen enerjinin %10'u ile %30'u arasında değişebileceği gözlemlenmiştir [5]. Bu yüzdeler yapının sadece kullanım aşamasındaki enerji etkinliğinin değil, yapı öncesi evrenin de önemine vurgu yapmaktadır. Bu sebeple yapılan alan 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 YDD ile ölçülebilmekte

ve malzemelerin üretimi için gereken enerji net bir şekilde elde edilebilmektedir. 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 [6].

90'lı yıllarda başlayan YDD çalışmaları dünyada hızla gelişirken Türkiye'deki çalışmaların başlangıcı 2000'lere rastlar. Konu ile ilgili başlıca çalışmalar şu şekildedir;

Adalberth (1997) çalışmasında, yapıların üretim, kullanım ve yıkım aşamasında tükettiği enerjinin hesaplanması için bir metod önermiştir [7]. Kim ve Rigdon'ın (1998) çalışmalarında sürdürülebilir tasarım üzerine stratejiler YDD bağlamında incelenmiştir [8]. Fay ve arkadaşlarının (2000) çalışmasında, yaşam döngüsü değerlendirmesinin tasarım kararları aşamasında sağlayabileceği yararları bahsedilmiştir [9]. Canan'ın (2002) tez çalışması Türkiye'de bu konuda yapılmış ilk çalışmalardan biridir. Konya'da mevcut bir toplu konutun yaşam döngüsü boyunca tükettiği enerji ve yapının çevresel etkileri incelenmiştir. Mevcut projede iyileştirmeler yapılarak her iki projenin çevresel etkileri karşılaştırılmıştır [10]. Tuna Taygun'un (2005) doktora çalışmasında, yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerilmiştir. [11]. TS EN ISO 14040 :2006, YDD metodunun uygulama ve esaslarını anlatan ISO standartlarının 2007 yılında yayınlanan Türkçe tercümesidir [12]. Tanaçan'ın (2012) çalışmasında, geçmişten günümüze artan enerji ihtiyacı, çevre problemleri ve bu süreçte atılan adımlar tarihsel sıra ile ele alınmıştır [13]. Yüceer'in (2015) kitabı, yapıların enerji etkinliği ve çevresel etkileri konularını sistematik bir şekilde aktaran literatür çalışmasıdır [14]. Chau ve arkadaşlarının (2015) çalışması son yıllarda yaşam döngüsü değerlendirmesi ile ilgili yapılan araştırmaları bir araya getiren bir derleme çalışmasıdır [15]. Dewolf'un (2017) doktora tezinde ahşap, çelik ve betonarme yapı sistemleri çevresel bakış açısıyla değerlendirilmiştir [16]. Gervasio ve Dimova'nın (2018) raporu, Avrupa Komisyonu'nun teknik bir rapordur ve bina düzeyinde YDD'nin nasıl yapılması gerektiğini detaylıca anlatmaktadır [17].

TÜİK verilerine göre 2020 yılı itibariyle Türkiye'de yapı izni alınan binaların %78'ini konutlar oluşturmaktadır [18]. Özellikle müstakil konutların incelenmesinin sebebi son yıllarda bu tip konutlara talebin artmasıdır. 2006 yılında Koman ve Eren'in yeni konut edinme ile ilgili düşünceler bağlamında yaptığı araştırmada kullanıcıların %85'inin müstakil konutlarda yaşamak istedikleri tespit edilmiştir [19]. Covid-19 pandemisi ile birlikte gündeme gelen sosyal kısıtlamalar da müstakil bahçeli konutlara talebi arttırmıştır. Kullanıcıya özel rekreasyon alanının bulunması, çok katlı konutlarda olduğu gibi ortak kullanımlı sosyal ve sirkülasyon alanlarının

bulunmaması gibi nitelikleri, müstakil konutları sosyal izolasyon açısından avantajlı bir konuma taşımıştır.

Yapı yaşam döngüsü malzemelerin üretimi, inşa, kullanım ve yıkım süreçlerinden oluşur. Ülkemizde sürdürülebilir ve ekolojik mimarlık konusunda yapılan çalışmalar daha çok yapıların kullanım aşamasındaki enerji verimliliği üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada ise yapının “yapı öncesi” yani malzemelerin üretimi evresine dikkat çekmek, bu süreçte tüketilen enerjinin ve doğaya yapılan karbon salınımının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple çalışmanın kapsamı yapının hammadde çıkarımı ile başlayıp inşa aşamasına kadar devam eden bölümü ile sınırlandırılmıştır. 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. Daha önce yapılan çalışmalarda yapıların belli bölümlerinin farklı malzemeler ile üretilmesi halinde tüketilen enerji ve doğaya salınan karbon miktarları karşılaştırılmıştır [20-22]. Bu çalışma ise bir konutun tamamı üzerinde ahşap, betonarme ve çelik yapı sistemlerinin uygulanarak karşılaştırılması bakımından özgündür.

2. Materyal ve Metot

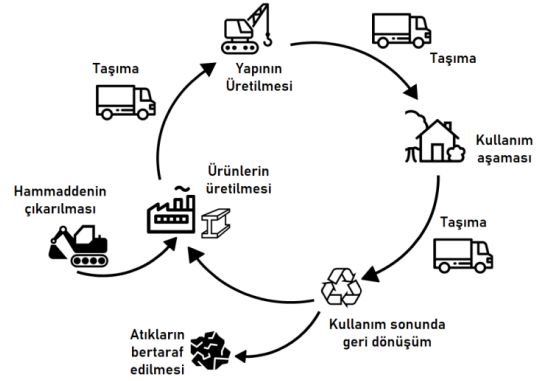
Konya’da 2013 yılında inşa edilmiş müstakil bir konut alan çalışması için seçilmiştir. Mevcut konutun taşıyıcı sistemi ahşap çerçeve olarak tasarlanmış ve uygulanmıştır. Çalışma kapsamında seçilen konutun mimari tasarım projesi aynı kalacak şekilde, taşıyıcı sistemi değiştirilerek alternatif iki proje 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 elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

2.1. YDD, Gömülü Enerji ve Gömülü Karbon

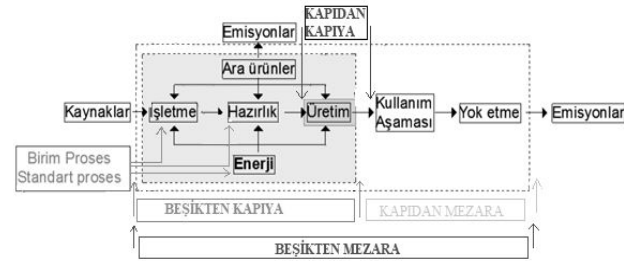
Binalar özelinde yaşam döngüsü değerlendirmesine bakıldığında yapı malzemelerinin hammaddelerinin kaynaktan çıkarılması ile başlayıp, yapının üretimi, kullanım aşaması ve binanın kullanım ömrünün tamamlanması ile başlayan geri dönüşüm evrelerini içeren sistematik bir analiz olduğu görülür (Şekil 1).

Yaşam döngüsü kaynaktan yaşam sonuna ölçülebilen bir sistem olması sebebiyle “beşikten mezara (cradle to grave)” terimi ile ifade edilir (Şekil 2). “Beşik” hammaddenin çıkarılması ile başlayan malzemenin üretimi için gerekli ilk adımı ifade eder. “Mezar” ise yapı malzemesinin kullanım ömrünü tamamladığı

evreyi ifade etmektedir. Beşikten mezara değerlendirme sırasında malzemenin işlenmesi sırasındaki ara adımlar da “kapı” olarak ifade edilir. YDD “beşikten kapıya”, “beşikten mezara” ya da “beşikten beşiğe” şeklinde ele alınabilir. YDD’nin en kapsamlı şekli “beşikten beşiğe (cradle to cradle)” olanıdır. Beşikten beşiğe hali ile yaşam sonundan sonra gelen geri dönüştürme, yeniden kullanma, yeniden hammadde kaynağına dönüşme gibi durumlar ile yaşam döngüsü çemberi kapanarak tam bir döngüsellik söz konusu olur.



Şekil 1. Yaşam döngüsü çemberi



Şekil 2. YDD Süreci [23]

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. Küresel ısınmanın doğal bir sonucu olarak da iklim değişiklikleri meydana gelmektedir.

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.

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 “karbondioksit eşdeğeri (carbon dioxide equivalent)” birimini oluşturmuşlardır. Kısaca “CO₂e” olarak gösterilir. Bir bölgedeki farklı sera gazlarını tanımlamak için kullanılan ortak bir birimdir. Bir miktar sera gazı ölçüsü o gazın “GWP” değeri ile çarpılarak “CO₂e” olarak tanımlanabilir. Örneğin, 1 kilo metan yayılırsa bu 25 kilo CO₂e olarak ifade edilebilir [24].

Gömülü karbon, 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 karbondioksit ve diğer sera gazlarının toplamı anlamına gelir [25].

Gömülü enerji

Bir ürünün çevresel etkilerini tespit etmenin en iyi yollarından biri gömülü enerjisini ölçmektir. Gömülü enerji malzemelerin üretilmesi için gereken toplam enerjiyi ifade eder. Hammaddenin çeşitli makineler yardımıyla kaynaktan çıkarılması, fabrikanın aydınlatılması ve ısıtılması, fabrikanın bakımı, makinelerin enerji tüketimi, hammadde ve diğer malzemelerin taşınmasında harcanan enerjinin tamamı gömülü enerjiyi oluşturur [26]. Bir tuğlanın, bir pencerenin ya da bütün bir evin gömülü enerjisini hesaplamak mümkündür. Gömülü enerjisi düşük malzemeleri kullanmak çevresel etkileri en aza indirmiş yapılar üretmede oldukça önemlidir [27].

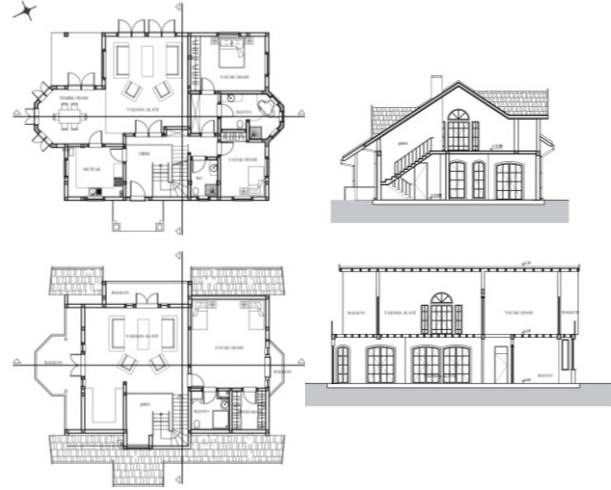
2.2. Alan Çalışması

Çalışma için Konya ili Sille Ak mahallesinde 2013 yılında inşa edilmiş müstakil bir konut seçilmiştir (Akyel Evi). Gözay & Koçkuzu Mimarlık tarafından tasarlanmıştır. Seçilen konut ayrıık düzende inşa edilmiş zemin ve çatı katından oluşan bir yapıdır (Şekil 3). Konutun planı ve kesitleri Şekil 4’te görülmektedir.

Alan çalışması “beşikten kapiya” kadarki süreyi kapsamaktadır. Bu süre yaşam döngüsü değerlendirmesi metodolojisinde hammadde temini, taşıma ve ürünün imalatı aşamalarını içeren modüldür. Etki değerlendirmesi gömülü enerji ve gömülü karbon ile sınırlandırılmıştır. Gömülü karbon katsayıları çeşitli sera gazlarını içerecek şekilde kgCO₂e olarak belirtilmiştir. Yapı malzemesinin binada kullanılan miktarının kilogram biriminden değeri veri tabanında bulunan katsayılarla çarpılarak binanın toplam gömülü enerjisi ve gömülü karbon değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. Akyel Evi [28]



Şekil 4. Akyel Evi plan ve kesitleri

3. Bulgular

3.1. Ahşap Konut (Akyel Evi)

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. Isı yalıtımı için taş yünü tercih edilmiştir. Ahşap iskeletin boşluklarına doldurmak suretiyle dış duvarlara ve çatıya taş yünü ile ısı yalıtımı yapılmıştır. Üzerine osb levhalar yerleştirilerek dış duvarlarda ve çatıda tüm bina su yalıtım membranı ile kaplanmıştır. Çatı kaplaması olarak kiremit tercih edilmiştir. Son olarak cepheler ve iç duvarlar kullanıcının isteği doğrultusunda doğal ahşap lambri ile bitirilmiştir. Ahşap konutun ana yapı elemanlarında kullanılan malzemeler kısaca Tablo 1’de özetlenmiştir.

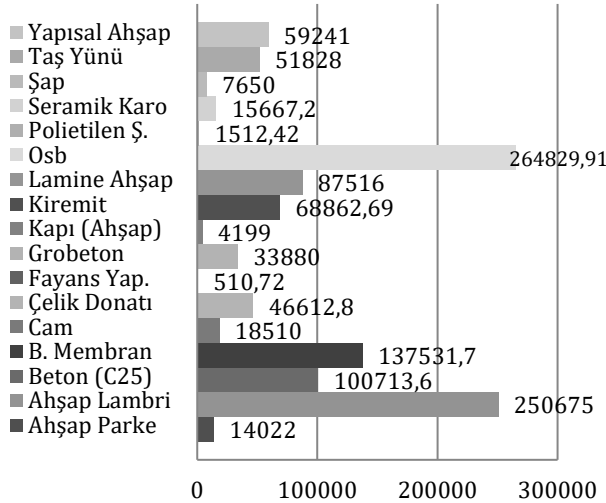
Tablo 1. Ahşap konutun ana yapı elemanlarının malzemeleri

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

Tablo 2’de 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.

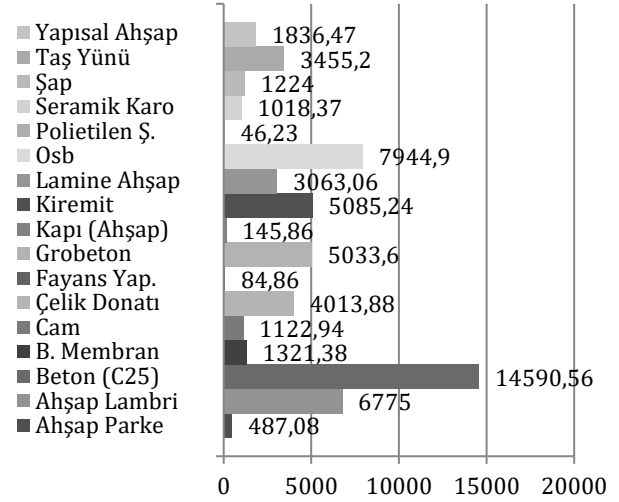
Çalışma sonucunda elde edilen grafiklere göre gömülü enerjisi en baskın yapı malzemesi osb levha ve binanın hem iç hem de dış yüzeyini kaplayan ahşap lambri olmuştur (Şekil 5). Şekil 6’dan elde edilen verilere göre, yapı malzemeleri arasında eşdeğer karbon değeri baskın çıkan malzeme yapının yalnızca 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.

Toplam Gömülü Enerji Değerleri (MJ)



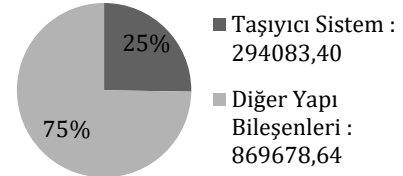
Şekil 5. Yapı malzemelerinin ahşap konuttaki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması

Toplam Gömülü Karbon Değerleri (kgCO₂e)



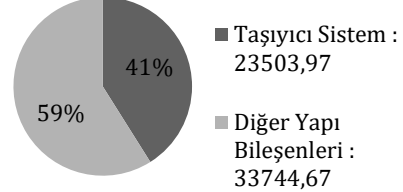
Şekil 6. Yapı malzemelerinin ahşap konuttaki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması

Ahşap Konut Gömülü Enerji (MJ)



Şekil 7. Taşıyıcı sistemin toplam gömülü enerjideki payı

Ahşap Konut Gömülü Karbon (kgCO₂e)



Şekil 8. Taşıyıcı sistemin toplam gömülü karbondaki payı

Şekil 7 ve 8’de ahşap konutun gömülü enerjisi ve gömülü karbon değeri taşıyıcı sistem ve diğer yapı bileşenleri bağlamında karşılaştırılmıştır.

Tablo 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)	
Taşıyıcı S.	Beton (C25)	129.120,00	0,78	100713,60	0,113	14590,56	
	Çelik Donatı	2.158,00	21,60	46612,80	1,860	4013,88	
	Lamine Ahşap	7.293,00	12,00	87516,00	0,420	3063,06	
	Yapısal Ahşap	5.924,10	10,00	59241,00	0,310	1836,47	
	Ahşap Parke	1.476,00	9,50	14022,00	0,330	487,08	
Diğer Malzemeler	Ahşap Lambri (İç Duv., Cep.)	33.875,00	7,40	250675,00	0,200	6775,00	
	Bitümlü Membran	2.696,70	51,00	137531,70	0,490	1321,38	
	Cam	1.234,00	15,00	18510,00	0,910	1122,94	
	Fayans Yapış.(Çimento Es.)	384,00	1,33	510,72	0,221	84,86	
	Grobeton (C8/10)	48.400,00	0,70	33880,00	0,104	5033,60	
	Kapı (Ahşap)	442,00	9,50	4199,00	0,330	145,86	
	Kiremit	10.594,26	6,50	68862,69	0,480	5085,24	
	Os b	17.655,33	15,00	264829,91	0,450	7944,90	
	Polietilen Şilte	18,20	83,10	1512,42	2,540	46,23	
	Seramik Karo	1.305,60	12,00	15667,20	0,780	1018,37	
	Şap	9.000,00	0,85	7650,00	0,136	1224,00	
	Taş Yünü	3.085,00	16,80	51828,00	1,120	3455,20	
		TOPLAM			1163762,04		57248,64

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

Grafiklerden elde edilen verilere göre konutun taşıyıcı sistemi gömülü enerjinin %25'inden, gömülü karbonun %41'inden sorumludur.

3.2. Betonarme Konut Alternatifi

Alan çalışması için 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. Betonarme alternatif için asmolen döşemede yaygın ve ekonomik bir çözüm olan boşluklu asmolen tuğla, bölücü duvarlar için boşluklu tuğla kullanılmıştır. Isı yalıtımı için orijinal projedeki gibi taş yünü seçilmiştir. Çatı taşıyıcıları için iki alternatif üretilmiştir. Ülkemizde betonarme konutların çatılarında ahşap taşıyıcı sistem sıklıkla tercih edilmektedir. Bu sebeple ilk betonarme konut alternatifinde çatı taşıyıcıları ahşap seçilmiş, ikinci alternatifte ise çatı katı taşıyıcıları betonarme olarak tasarlanmıştır. İkinci alternatifte eğimli betonarme çatı kullanılarak yapı bütünüyle betonarme bir yapıyla tasarlanmıştır (Tablo 3).

3.2.1. 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 taşıyıcılarla birlikte delikli tuğla duvar uygulaması yapılmıştır. Betonarme-1 alternatifinde kullanılan başlıca yapı malzemelerinin gömülü enerji ve gömülü karbon cinsinden karşılıkları Tablo 4'te yer almaktadır. Taşıyıcı sistemi oluşturan malzemeler koyu harflerle gösterilmiştir. Dişli döşemenin boşluklarını dolduran bir dolgu malzemesi olan asmolen tuğlası, taşıyıcı niteliği olmamasına karşın yapı strüktür sisteminin bir parçası olduğundan taşıyıcı

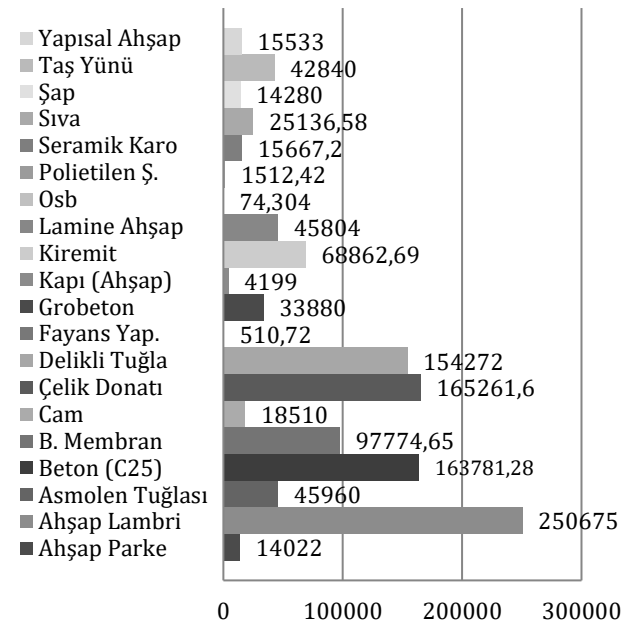
sistemi oluşturan malzemeler grubunda gösterilmiştir.

Tablo 3. Betonarme konutun ana yapı elemanlarının malzemeleri

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

*Betonarme-1 alternatifinde ahşap olan çatı strüktürü Betonarme-2'de eğimli betonarme çatı şeklinde farklılaşmaktadır.

Toplam Gömülü Enerji Değerleri (MJ)



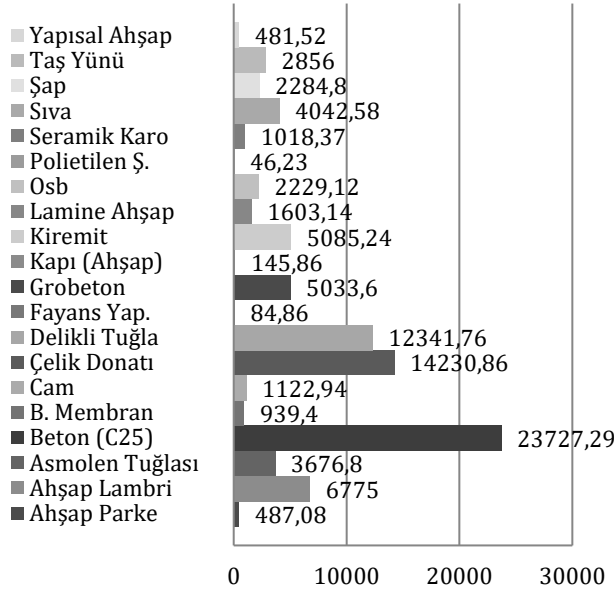
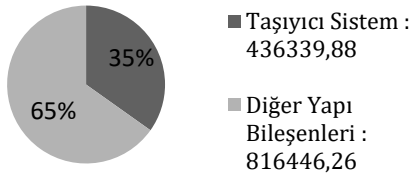
Şekil 9. Yapı malzemelerinin Betonarme-1'deki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması

Tablo 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)
Taşıyıcı S.					
Asmolen Tuğlası	15320,00	3,00	45960,00	0,240	3676,80
Beton C25	209976,00	0,78	163781,28	0,113	23727,29
Çelik Donatı	7651,00	21,60	165261,60	1,860	14230,86
Lamine Ahşap	3817,00	12,00	45804,00	0,420	1603,14
Yapısal Ahşap	1553,30	10,00	15533,00	0,310	481,52
Diğer Malzemeler					
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
Bitümlü Membran	1917,15	51,00	97774,65	0,490	939,40
Cam	1234,00	15,00	18510,00	0,910	1122,94
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	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
TOPLAM			1252786,14		88212,46

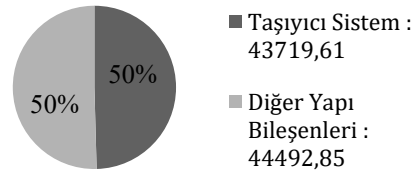
Tablo 5. Betonarme-2 konutunun malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri

	Yapı Malzemeleri	Metraj (kg)	G.E.(MJ/kg)	G.E.(MJ)	G.K.(kgCO ₂ e/kg)	G.K.(kgCO ₂ e)
Taşıyıcı S.	Asmolen Tuğlası	15320,00	3,00	45960,00	0,240	3676,80
	Beton C25	307320,00	0,78	239709,60	0,113	34727,16
	Çelik Donatı	11462,97	21,60	247600,15	1,860	21321,12
Diğer Malzemeler	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
	Bitümlü Membran	1917,15	51,00	97774,65	0,490	939,40
	Cam	1234,00	15,00	18510,00	0,910	1122,94
	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	35666,02	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

Toplam Gömülü Karbon Değerleri (kgCO₂e)**Şekil 10.** Yapı malzemelerinin Betonarme-1'deki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması**Betonarme-1 Konutu Gömülü Enerji (MJ)****Şekil 11.** Taşıyıcı sistemin toplam gömülü enerjideki payı

Şekil 9 ve 10'a bakıldığında gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri arasında belirgin farklar göze çarpmaktadır. Ahşap lambri ve os b 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. Betonarme-1 alternatifinin gömülü enerjisinin %35'i, gömülü karbon değerinin %50'si taşıyıcı sistemden kaynaklanmaktadır (Şekil 11 ve 12).

Betonarme-1 Konutu Gömülü Karbon (kgCO₂e)**Şekil 12.** Taşıyıcı sistemin toplam gömülü karbondaki payı

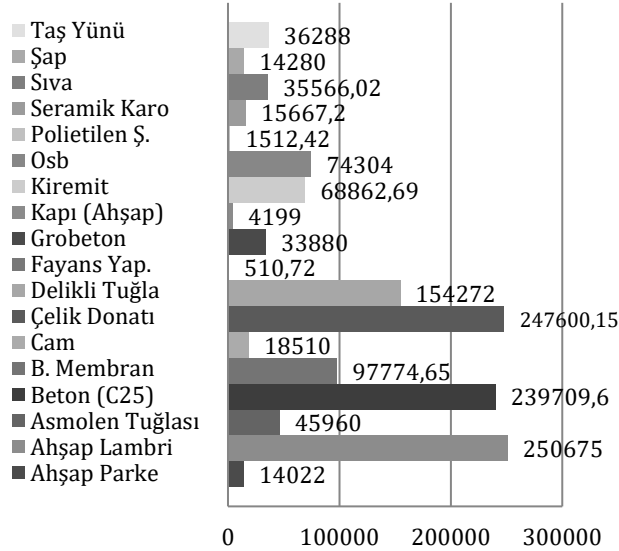
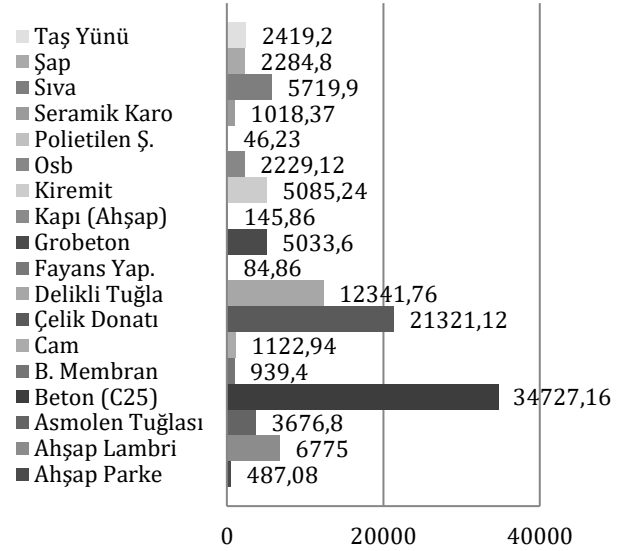
3.2.2. Betonarme konut ikinci alternatif

Betonarme taşıyıcı sistem ile üretilen ikinci alternatif proje "Betonarme-2" olarak adlandırılmıştır. Bu alternatifin hem zemin hem de çatı katında betonarme taşıyıcılar kullanılmıştır. Çatı, eğimli betonarme çatı olarak tasarlanmıştır. Bu alternatifte Betonarme-1 alternatifine göre bina ağırlaşmış ve kolon kesitleri buna bağlı olarak bir miktar artış göstermiştir. Tablo 5'te Betonarme-2 alternatifinin malzemelere göre gömülü karbon ve enerji değerleri listelenmiştir. Şekil 13 ve 14'te yapı malzemelerinin çevresel performansı grafiklerle ifade edilmiştir.

Şekil 13'e göre Betonarme-2 alternatifinde gömülü enerjisi en yüksek yapı malzemeleri ahşap lambri, çelik donatı ve beton olmuştur. Gömülü karbon değeri en yüksek malzeme ise beton ve çelik donatı olmuştur. Şekil 15 ve 16'daki grafiklere göre taşıyıcı sistem toplam gömülü enerjinin %39'undan, toplam gömülü karbonun %57'sinden sorumludur.

Tablo 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)
Asmolen Tuğlası	15320,00	3,00	45960,00	0,240	3676,80
Taşıyıcı S. Beton C25	307320,00	0,78	239709,60	0,113	34727,16
Çelik Donatı	11462,97	21,60	247600,15	1,860	21321,12
Diger Malzemeler					
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
Bitümlü Membran	1917,15	51,00	97774,65	0,490	939,40
Cam	1234,00	15,00	18510,00	0,910	1122,94
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

Toplam Gömülü Enerji Değerleri (MJ)**Şekil 13.** Yapı malzemelerinin Betonarme-2'deki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması**Toplam Gömülü Karbon Değerleri (kgCO₂e)****Şekil 14.** Yapı malzemelerinin Betonarme-2'deki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması

3.3. Çelik Konut Alternatifi

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. 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. Çatı konstrüksiyonu çelik profillerle tasarlanmış, kiremit çatı kaplaması ile bitirilmiştir (Tablo 6).

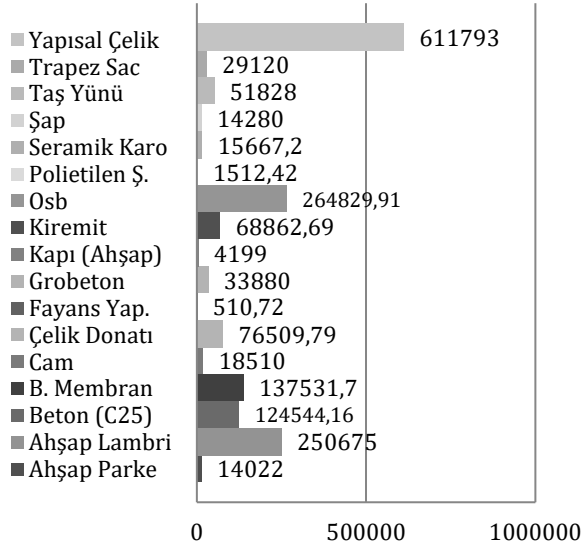
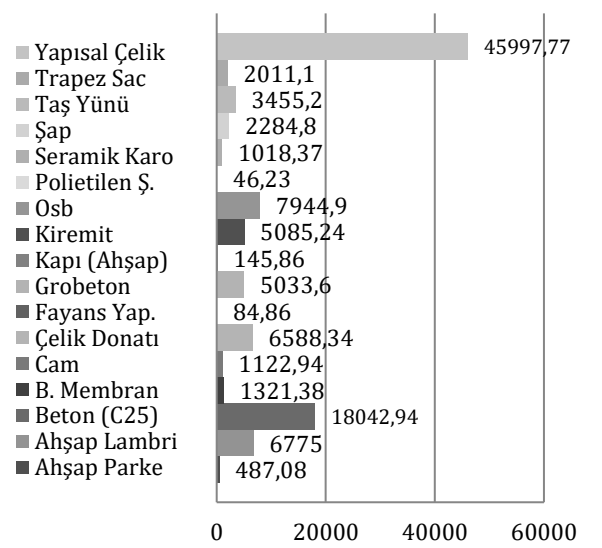
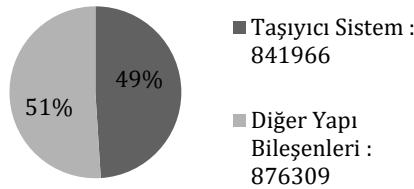
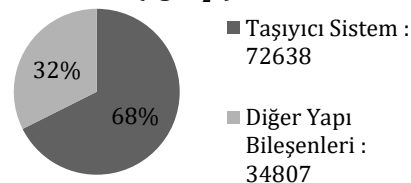
Tablo 6. Çelik konutun ana yapı elemanlarının malzemeleri

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

Tablo 7'de çelik konutta kullanılan malzemeler, kilogram biriminden yapıda kullanılan miktarları, birim gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri verilmiş, birim değerlerle çarpılan miktarlar listelenmiştir. Şekil 17 ve 18'de yapı malzemelerinin gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Tablo 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)	
Taşıyıcı S.	Beton C25	159672,00	0,78	124544,16	0,113	18042,94	
	Çelik Donatı + Çelik Hasır	3542,12	21,60	76509,79	1,860	6588,34	
	Trapez Sac	910,00	32,00	29120,00	2,210	2011,10	
	Yapısal Çelik	22659,00	27,00	611793,00	2,030	45997,77	
Diğer Malzemeler	Ahşap Parke	1476,00	9,50	14022,00	0,330	487,08	
	Ahşap Lambri	33875,00	7,40	250675,00	0,200	6775,00	
	Bitümlü Membran	2.696,70	51,00	137531,70	0,490	1321,38	
	Cam	1234,00	15,00	18510,00	0,910	1122,94	
	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	
		TOPLAM			1718275,59		107445,61

Toplam Gömülü Enerji Değerleri (MJ)**Şekil 17.** Yapı malzemelerinin çelik konuttaki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması**Toplam Gömülü Karbon Değerleri (kgCO₂e)****Şekil 18.** Yapı malzemelerinin çelik konuttaki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması**Çelik Konut Gömülü Enerji (MJ)****Şekil 19.** Taşıyıcı sistemin toplam gömülü enerjideki payı**Çelik Konut Gömülü Karbon (kgCO₂e)****Şekil 20.** Taşıyıcı sistemin toplam gömülü karbondaki payı

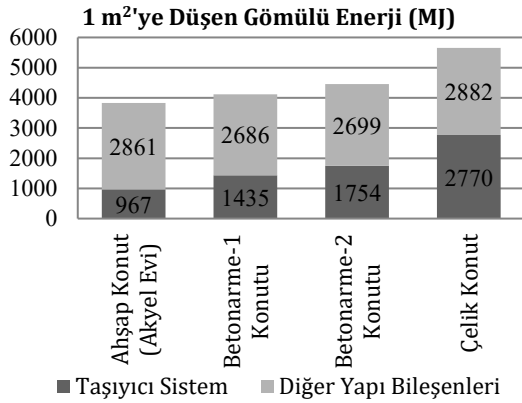
Çelik strüktür grafiklerde görüldüğü şekilde diğer malzemelere oranla fazla enerji tüketmektedir ve o oranda karbon emisyonları da fazladır. Çelik yapı malzemeleri için ICE veri setinde farklı ölçüler bulunmaktadır. Bu çalışma için seçilen birim değerler dünya ortalaması için verilmiş olan “%39 oranlı geri dönüştürülmüş çelik” tir. Çelik malzeme içindeki geri dönüştürülmüş katkı oranı arttıkça gömülü enerji miktarı da o ölçüde düşecektir. Çelik konutun gömülü karbon ve gömülü enerjisinin taşıyıcı sistem ve diğer yapı bileşenlerinin birbirine oranı Şekil 19 ve 20’deki grafiklerde ifade edilmiştir. Çelik konutun gömülü enerjisinin %49’u, gömülü karbonunun %68’i taşıyıcı sistem kaynaklıdır.

4. Tartışma ve Değerlendirmeler

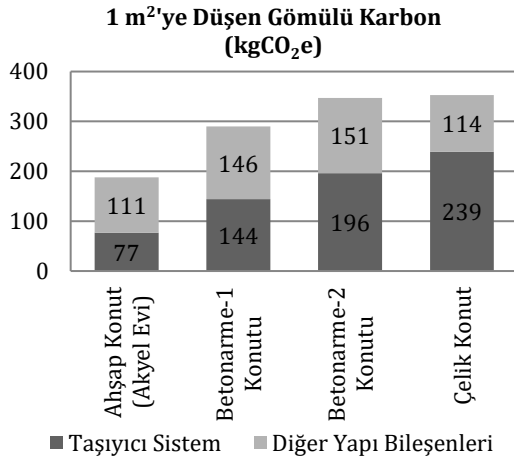
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının “Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı” (2016) isimli raporunda metrekaşe başına düşen çevresel etkilerin

hesaplanması, hem kullanıcıya kolaylıkla anlatılması hem de Türkiye'nin Kyoto Protokolü kapsamında iklim değişikliği ile mücadele hedeflerine katkıda bulunacak bir altyapı oluşturması bakımından teşvik edilmektedir. Üç farklı yapım sisteminin ayrı ayrı değerlendirilmesi ile elde edilmiş veriler bu bölümde metrekare başına düşen değerler bağlamında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

304 m² toplam inşaat alanından meydana gelen konutun toplam gömülü karbon ve gömülü enerjisinin metrekare düzeyine indirgenmiş değerleri Şekil 21 ve Şekil 22'de görülmektedir. Yapıların toplam ağırlıklarının karşılaştırılması Şekil 23'te verilmiştir.



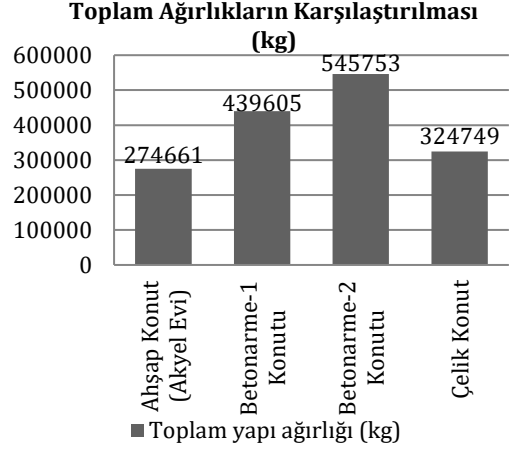
Şekil 21. 1 metrekareye düşen gömülü enerji değerlerinde taşıyıcı sistemin payı



Şekil 22. 1 metrekareye düşen gömülü karbon değerlerinde taşıyıcı sistemin payı

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.



Şekil 23. Toplam ağırlıkların karşılaştırılması

Ahşap konutta -binanın mimarları ile yapılan görüşmede aktarılmıştır- yapı sahibinin isteği doğrultusunda dış duvarlar olması gerekenden daha kalın tasarlanmıştır (15cm yerine 20cm). 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 olumsuz çevresel etkilerinin daha da azalmasını 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. 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.

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. Sonuç ve Öneriler

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 stokumuzda 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 yapı sistemleri ise, ahşap teknolojisinde dünyaya kıyasla geride olmamız, üniversitelerde bu konuda yeterince güncel eğitim verilmemesi ve yönetmeliklerin çağın gerisinde kalması gibi nedenlerle en az tercih edilen yapı türüdür.

Sürdürülebilir bir yapı 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 operasyonel enerjisi de beraber ele alınarak yapının yaşam döngüsü boyunca tükettiği enerjinin taşıyıcı sistemler bağlamında bütüncül olarak değerlendirilmesi yapılabilir.
- Ahşap yapı sistemlerinin 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.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Teşekkür

Bu çalışma, Hatice Sena Azkur'un, Doç. Dr. Fatih Canan danışmanlığında hazırladığı "Konut Mimarisinde Farklı Taşıyıcı Sistemlerin Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Analizi ile Değerlendirilmesi" isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynakça

- [1] World Wildlife Fund Türkiye, 2010. Türkiye'nin Yarınları Projesi Sonuç Raporu. WWF-Türkiye, İstanbul, 9s.
- [2] United Nations Environmental Programme, 2017. Towards a Zero-Emission, Efficient, and

Resilient Buildings and Construction Sector Global Status Report. UNEP.

- [3] Canan, F., Bakır, İ., 2008. Enerji ve Çevre Etkin Bina Tasarımında Ömür Süreci Analizi Yönteminin Değerlendirilmesi. Teknik-Online Dergisi, 7(2), 153-174.
- [4] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016. Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı- Türkiye Ortamı ve Koşullarına Uyarlama Raporu. ETKB, Ankara.
- [5] 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.
- [6] Curran, M.A., 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. EPA, Ohio.
- [7] Adalberth, K., 1997. Energy Use During the Life Cycle of Buildings: A Method. Building and Environment, 32(4), 317-320.
- [8] Kim, J.J., Rigdon, B., 1998. Sustainable Architecture Module: Introduction to Sustainable Design. National Pollution Prevention Center for Higher Education, Michigan.
- [9] Fay, R., Treloar, G., Iyer-Raniga, U., 2000. Life-Cycle Energy Analysis of Buildings: A Case Study. Building Research and Information, 28(1), 31-41.
- [10] Canan, F., 2002. Enerji ve Çevre Bilinçli Konut Tasarımında Bina Ömür Süreci Yaklaşımı. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Konya.
- [11] Tuna Taygun, G., 2005. Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 164s, İstanbul.
- [12] TS EN ISO 14040:2006, 2007. Çevre Yönetimi -Hayat Boyu Değerlendirme- İlkeler ve Çerçeve. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [13] Tanaçan, L., 2012. Ekoloji, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ve Malzeme. Mimarlıkta Malzeme, 1, 18-23.
- [14] Yüceer, N.S. 2015., Yapıda Çevre ve Enerji. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- [15] 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.

- [16] Dewolf, C., 2017. Low Carbon Pathways for Structural Design: Embodied Life Cycle Impacts of Building Structures. Massachusetts Institute Of Technology, Phd Thesis, 53s, Massachusetts.
- [17] Gervasio, H., Dimova, S., 2018. Model for Life Cycle Assessment (LCA) of Buildings. EUR 29123 EN, Publicians Office of the European Union.
- [18] TÜİK, 2020. Yapı İzin İstatistikleri Ocak-Eylül 2020. <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=33782> (Erişim Tarihi: 20.12.2020).
- [19] Koman, İ., Eren, Ö., 2006. Alternatif Sürdürülebilir Konut Uygulamaları ve Türkiye'deki Betonarme Konut Sektörü. Mimarlık Dergisi, 329.
- [20] Tuna Kayılı, M., Özmen, S.T., 2020. Hafif Çelik ve Ahşap Duvar Konstrüksiyonlarının Gömülü Karbon Değerinin Belirlenmesi. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2), 613-618.
- [21] Saleem, M., Chhipi-Shestra, G., Andrade, M.T.B., Dyck, R., Ruparathna, R., Hewage, K., Sadiq, R., 2018. Life Cycle Thinking-Based Selection of Building. Journal of Architectural Engineering, 24(4)
- [22] Paleari, M., Miliani, A. 2018. The Sustainability of Wall Solutions: Life Cycle Assessment (LCA) of Different Solutions for External closures. CE Papers, 2, 489-494.
- [23] Benli Yıldız, N., 2017. Cam Elyaf Takviyeli Beton (GFRC) Cephe Panelleri İçin Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD) Yöntemiyle Bir Sürdürülebilirlik Çerçevesi Geliştirilmesi. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 37s, Düzce.
- [24] Brander, M., 2019. Greenhouse Gases, CO₂, CO_{2e}, and Carbon : What Do All These Terms Mean? <https://ecometrica.com/assets/ghgs-co2-co2e-and-carbon-what-do-these-mean-v2.1.pdf> (Erişim tarihi Kasım 2019)
- [25] Yıldırım, E., 2018. Dış Duvarların Operasyonel ve Gömülü Enerji Bağlamında Çevresel Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi, İstanbul'dan Otel Binası Örnekleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [26] Berge, B., 2009. The Ecology of Building Materials Second Edition. Architectural Press, UK.
- [27] Roaf, S., Fuentes, M., Thomas, S., 2001. Ecohouse : A Design Guide, Architectural Press, UK.
- [28] Koçkuzu, M., 2013, Koçkuzu Fotoğraf Arşivi.