

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KONUTLARDA  
KARBON AYAK İZİNİN AZALTILMASINDAKİ ROLÜ**

**Engin DEMİRCİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KASIM 2018**

**ANTALYA**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KONUTLARDA  
KARBON AYAK İZİNİN AZALTILMASINDAKİ ROLÜ**

**Engin DEMİRCİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KASIM 2018**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KONUTLARDA  
KARBON AYAK İZİNİN AZALTILMASINDAKİ ROLÜ**

**Engin DEMİRCİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KASIM 2018**

**ANTALYA**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KONUTLARDA  
KARBON AYAK İZİNİN AZALTILMASINDAKİ ROLÜ**

**Engin DEMİRCİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından  
FYL-2017-2652 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

**KASIM 2018**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KONUTLARDA  
KARBON AYAK İZİNİN AZALTILMASINDAKİ ROLÜ**

**Engin DEMİRCİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 16/11/2018 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR (Danışman)

Prof. Dr. Murat GÖKÇEK

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KILIÇ

## ÖZET

### YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KONUTLARDA KARBON AYAK İZİNİN AZALTILMASINDAKİ ROLÜ

Engin DEMİRCİ

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Kasım 2018; 29 sayfa

Doğa ve çevre dışarıdan suni bir etki olmaksızın kendini yenileyebilen bir olgudur. Ancak insanoğlu artan ihtiyaçlarından dolayı doğayı hoyratça kullanmakta ve kendini yenileme şansı bırakmamaktadır. Bu hoyratça kullanımın en önemli göstergesi karbon ayak izidir. Doğaya verilen zararın büyüklüğü karbon ayak izinin büyüklüğü ile orantılıdır. Bu çalışma kapsamında Türkiye şartlarında ortalama bir konutun enerji tüketimine bağlı karbon ayak izi hesabı yapılmıştır ve karbon ayak izi hesaplanarak yenilenebilir enerji kaynaklarının bu ayak izinin azaltılmasındaki önemi incelenmiştir. Karbon ayak izi hesabı yapılırken konutun ısıtma, soğutma vb. gibi enerji tüketimi ihtiyacı hesaplanmış ve bu tüketimin hangi yenilenebilir enerji kaynağıyla ne kadar düşürülebileceği incelenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELEER:**Enerji,Karbon ayak izi, Yenilenebilir Enerji, Yeşil Bina

**JÜRİ:** Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Prof. Dr. Murat GÖKÇEK

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KILIÇ

## **ABSTRACT**

### **THE ROLE OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES TO REDUCE CARBON FOOTPRINTS IN RESIDENTS**

**Engin DEMİRCİ**

**M.Sc. Thesis in Mechanical Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR**

**November 2018; 29 Pages**

Nature and environment are a phenomenon that can renew itself without an artificial effect from the outside. However, human beings are using the nature wildly because of their increasing needs and do not have a chance to renew themselves. The carbon footprint is the most important indicator of this grueling use. The magnitude of the natural damage is proportional to the size of the carbon footprint. In this study, a carbon footprint account based on energy consumption of an average residence in Turkey has been modeled and the importance of reducing the footprint of renewable energy sources by calculating carbon footprint has been examined. When the carbon footprint account is made, heating, have been calculated and the extent to which this consumption can be reduced with the renewable energy source has been examined.

**KEYWORDS:** Carbon footprint, Energy, Green Building Renewable Energy

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR

Prof. Dr. Murat GÖKÇEK

Assist. Prof. Dr. Mustafa KILIÇ

## ÖNSÖZ

Enerji tüketimi artan dünya nüfusu ile doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Ancak bu hızlı tüketim artışının sonucu olarak yüksek oranda sağlığını ve çevreyi tehdit eden atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların en önemli kalemlerinden birisi de karbondioksit gazıdır.

Karbondioksit gazının miktarını ölçmek ve zararlarına dikkat çekmek amacıyla karbon ayak izi hesaplanmaktadır. Karbon ayak izi çevreye verilen zararın karbondioksit açısından bir ölçüsüdür. Bu çalışmada konutlarda enerji tüketimine bağlı olarak karbon ayak izi miktarı belirlenmiş olup, ortaya çıkan ayak izinin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla hangi oranda azaltılabileceği araştırılmıştır.

Lisansüstü çalışma hayatım boyunca bilgi, tecrübe ve yardımlarını benden esirgemeyip beni en iyi şekilde yönlendiren, bana her zaman destek olan tez danışmanım sayın hocam Prof. Dr. Afşin GÜNGÖR'e, tezimin başından sonuna kadar desteğini esirgemeyen, tezimi okuyup gereken düzeltmeleri yapmamda yardımcı olan değerli eşim Dilara DEMİRCİ'ye ve benden hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin gerçekleşmesinde maddi desteklerinden dolayı Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
AKADEMİK BEYAN .....	v
SİMGELER DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1.GİRİŞ .....	1
2.KAYNAK TARAMASI.....	2
2.1. Karbon Ayak İzi.....	2
2.2. Karbon Ayak İzinin Bileşenleri.....	2
2.3. Türkiye’de Karbon Ayak İzi .....	4
2.4. Dünya Ülkelerinde Karbon Ayak İzi.....	4
2.5. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi.....	7
2.6. Literatür Özeti .....	7
3. MATERYAL VE METOT.....	12
3.1. Örnek Bina .....	12
3.2. Isı Kaybı Hesabı .....	14
3.3. Isı İhtiyacı Hesabı.....	18
3.4. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi.....	19
3.5 Karbon ayak izini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı .....	20
3.5.1. Fotovoltaik panellerle elektrik üretimi .....	20
3.5.2. Sulu termal sistemler ile sıcak su üretimi.....	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	22
4.1. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacına Göre Karbon Ayak İzi.....	22
4.2. Dört Kişilik Bir Ailenin Yıllık Enerji Tüketimine Bağlı Karbon Ayak İzi .....	23
5. SONUÇLAR.....	25
6.KAYNAKLAR .....	27
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Konutlarda Karbon Ayak İzinin Azaltılmasındaki Rolü” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

16/11/2018

Engin DEMİRCİ

## SİMGELER DİZİNİ

### Simgeler

$A_c$	:Gerekli kollektör alanı
$C_p$	:Özgül ısı
$Q_{gerekli}$	:Gerekli ısı miktarı
$Q_{faydalı}$	:Faydalı ısı miktarı
$\dot{Q}_{ışın.}$	:Işınım ile olan ısı miktarı
$T$	:Sıcaklık
$T_w$	:Şebeke suyu sıcaklığı
$T_m$	:İstenilen sıcaklık
$\eta_{kol}$	:Kollektör verimi
$\eta_m$	:Sistem verimi
$\alpha_i$	:Yüzeysel ısı iletim katsayısı (iç)
$\alpha_d$	:Yüzeysel ısı iletim katsayısı (dış)
$H_i$	:İletim Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı
$H_v$	:Havalandırma Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı,
$H_T$	:Eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük güneş ışınımı

Ondalık birim ayırıcı olarak “,” kullanılmıştır.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Örnek binanın güney cephe görünümü .....	12
Şekil 3.2. Örnek binanın kuzey cephe görünümü .....	13
Şekil 3.3. Örnek binanın mimari çizimi.....	14

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Karbon ayak izi parametreleri.....	3
Çizelge 2.2. Türkiye’de Karbon Ayak İzinin Bileşenleri .....	4
Çizelge 2.3. Ülkelere göre karbon ayak izi miktarı.....	5
Çizelge 3.1. Bina m <sup>2</sup> dağılımı.....	13
Çizelge 3.2. Özgül Isı kaybı hesabı .....	15
Çizelge 3.3. Isı kaybı hesabı çizelgesi .....	17
Çizelge 3.4. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı .....	18
Çizelge 3.5. Karbon ayak izi hesaplama katsayıları.....	19
Çizelge 4.1. Örnek binanın ısıtılması için gerekli enerji kaynakları ve miktarları .....	22
Çizelge 4.2. Enerji ihtiyacı için kullanılan yakıtların CO <sub>2</sub> miktarları .....	23
Çizelge 4.3. Dört kişilik bir ailenin tüketim değerleri .....	24
Çizelge 4.4. Dört kişilik bir ailenin tüketim değerlerine göre CO <sub>2</sub> miktarları.....	24

## 1. GİRİŞ

Enerji tüketimi son yüzyılda artan nüfus ile birlikte en yüksek seviyelerine ulaşmıştır. Hızlı, bilinçsizce ve geri dönüşümü olmadan yapılan bu tüketimler sonucu atmosfere yayılan zararlı gazların miktarı ( $CO_2NO_x$  vb.) büyük oranda artmıştır. Zararlı gazların atmosferdeki oranının artması küresel ısınmaya sebebiyet vermekte ve dolaylı olarak dünyada iklim değişikliğine neden olmaktadır.

Her geçen gün önemli ölçüde artan bu tehlike karşısında, bilim insanları atmosfere en çok yayılan ve en zararlı gazlardan birisi olan karbondioksit gazı salınımının minimuma indirilmesi için çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmaların başında zararlı gazların temel kaynağı olan fosil yakıt kullanımının azaltılması gelmektedir. Ancak fosil yakıtlar insan temel yaşam gereksinimlerini ve konforunu arttıran noktalarda (ulaşım, barınma vb.) kullanıldığı için fosil yakıt tüketimini azaltmak çok kolay değildir. Bu durum için en iyi çözümlerden birisi günlük hayatımızda kullandığımız cihazları daha az fosil yakıt kullanımıyla daha verimli çalışan hale getirmek ve bu amaçla üretilmiş cihazları kullanarak ihtiyaçları karşılamaktır.

Fosil yakıt kullanımını azaltmanın diğer bir yöntemi ise enerjinin önemli kısmını harcadığımız barınma kaynaklı tüketimdir. Barınma için yapılan evlerde enerji tasarrufu sağlamak için ısı yalıtımı oldukça önemlidir. Yalıtım sayesinde ısınma için kullanılan doğalgaz, kömür vb. gibi fosil yakıtların kullanımı azalacaktır. Buna ek olarak binalarda güneş enerjisinden yararlanmakta oldukça önemlidir. Gün boyu güneşe maruz kalan binalar daha az ısı kaybı yaşayacak ve daha az enerji tüketimi gerçekleştirecektir.

Son olarak yukarıda anlatılan önlemlerin haricinde enerji ihtiyacını yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarından sağlanması da önemli bir yöntemdir. Bu amaçla ısınma ihtiyacı için güneş, biyokütle ve jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı çok önemlidir. Elektrik enerjisi için ise yine güneş, biyokütle ve jeotermal enerjinin yanı sıra, rüzgar, dalga, hidrojen vb. gibi enerji kaynakları da çok önemlidir.

Yapılan bu tez çalışmasında konutlardaki enerji tüketimine bağlı olarak karbon ayak izi hesaplamaları yapılmış olup elde edilen karbon ayak izinin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla nasıl azaltılacağı teorik olarak incelenmiştir. Bu amaçla Türkiye şartlarında ortalama bir bina seçilmiştir. Binanın karbon ayak izi detaylı olarak çıkarılmış ve azaltılması için yapılması gerekenler incelenmiştir.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Karbon Ayak İzi

Bireylerin doğaya bıraktıkları ekolojik ayak izlerinin büyük bir bölümü, karbon ayak izinden oluşmaktadır. Karbon ayak izi, artan tüketim faaliyetleri ile diğer ekolojik ayak izi bileşenlerine oranla daha hızlı büyümektedir. Isı tutma kapasitesi, atmosferdeki oranı ve atmosferde kalma süresi göz önüne alındığında karbondioksit gazı doğada uzun süreli ve canlı sistemleri yok edici izler bırakmakta ve biyolojik kapasitenin aşılmasına neden olmaktadır (Reeves ve Lenoir, 2006; Denhez, 2007; Lynas, 2009). Bu nedenle bireylerin küresel ısınmadaki paylarının farkına varmaları ve azaltılmaları yönünde gerekli önlemleri alabilmeleri için karbon ayak izi hesaplamaları büyük önem taşımaktadır.

Karbon ayak izi, insanın tüketim faaliyetlerinin doğa üzerinde oluşturduğu etkinin büyüklüğünü ifade etmenin bir yoludur. Literatür araştırması yapıldığı zaman karbon ayak izi tanımı ile ilgili farklı tanımlamalar yapılmıştır. Wiedmann ve Minx (2008)' e göre karbon ayak izi, insan faaliyetleri sonucu oluşturulan bir ürünün yaşam evresi boyunca doğrudan ya da dolaylı bir şekilde biriktirdiği karbondioksit emisyonlarının toplam miktarıdır.

Karbon ayak izini başka bir tanıma göre tanımlarsak, ekolojik ayak izinin en büyük bileşenini oluşturan “karbon ayak izi”, küresel ısınmaya neden olan sera gazları arasında yer alan karbondioksit gazının emisyonunun absorbe edilmesi için gerekli biyolojik üretken alan miktarıdır (WWF, 2009). Lynas (2009)'a göre ise, ihtiyaçlarımızı karşılamak üzere gerçekleştirdiğimiz her türlü tüketim faaliyetimizin doğa üzerinde oluşturduğu etkiye ve küresel ısınmadaki paya “karbon ayak izi” denilmektedir. Karbon ayak izi tanımlarında sera gazlarından sadece karbondioksit gazı miktarının göz önüne alınmasındaki sebep, diğer sera gazları için gerekli biyolojik kapasite ölçümlerinde yeterli bilginin sağlanmasında zorluk yaşanmasıdır. Bu yüzden bazı çalışmalarda yer alan hesaplamalarda diğer sera gazları karbondioksit eşdeğerliğine çevrilerek yorumlanmaktadır (Kitzes vd., 2007; Wiedmann ve Minx; 2008).

### 2.2. Karbon Ayak İzinin Bileşenleri

Ulaşım, gıda, ısınma aydınlanma gibi geniş bir alanı kapsayan karbon ayak izi, bireylerin oluşturdukları tabloyu daha net anlayabilmeleri açısından belirli parametreler altında incelenmektedir (Kitzes vd., 2008). Bu parametreler, karbon ayak izinin hesaplanmasında, ülkelerin sosyoekonomik ve sosyokültürel durumlarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Jones ve Kammen (2011)'in yaptıkları bir çalışmada karbon ayak izi parametreleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Karbon ayak izi parametreleri

Parametre	Birincil ayak izi	İkincil ayak izi
Ulaşım	Yakıt	-Toplu taşıma -Hava ulaşımı -Otomobil
Barınma	Doğal gaz	-Elektrik -Su ve atık -Isınma
Gıda		-Tahıl -Sebze -Meyve -Et
Ürün		-Giyim -Ev ürünleri -Kişisel bakım
Hizmet		-Sağlık -Eğlence -Eğitim

Karbon ayak izi ikiye ayrılır. Birincil ayak izi, , evsel enerji tüketimi ve ulaşım dahil olmak üzere fosil yakıtlarının yanmasından ortaya çıkan doğrudan CO<sub>2</sub> salınımlarının, ikincil ayak izi ise kullandığımız ürünlerin tüm yaşam döngüsüyle (ürünlerin imalatı ve en sonunda bozulmaları) ilgili olan dolaylı CO<sub>2</sub> salınımlarının ölçüsüdür. Öte yandan karbon ayak izinin belirli kategorilere ayrılması bireylerin kaynak kullanımının ve sürdürülebilirliklerinin takibinde kolaylık sağlamaktadır. Bununla beraber bu kategoriler, bireylerin hangi bileşen açısından daha çok sorumluluk almaları gerektiği konusunda farkındalık oluşturmaktadır. Ayrıca bireyler, bu kategoriler altında bireysel ve toplumsal durumlarını Kyoto protokolü ile belirlenen CO<sub>2</sub> salınım standartları çerçevesinde değerlendirerek diğer ülkeler ile kıyaslama şansı bulmakta ve yerel çözümler oluşturma fırsatını yakalamaktadırlar (Mattila, Kujanpaa, Dahlbo, Soukka ve Myllmaa, 2011).



### 2.3. Türkiye’de Karbon Ayak İzi

Ülkelerin Ayak İzi ve biyolojik kapasite sonuçları Küresel Ayak İzi Ağı (Global Footprint Network) tarafından yıllık olarak hesaplanmaktadır. Küresel Ayak İzi Ağı, her yıl dünya çapında 150’den fazla ülkenin biyolojik kapasite talebini ölçmekte ve ulusal ayak izi hesaplarını yayınlamaktadır.

Dünya Yabani Yaşam Vakfı (WWF) Yaşayan Gezegen Raporu 2012’ye göre, 2008 yılı verileriyle Türkiye’nin kişi başına düşen ekolojik ayak izi 2,55 kha, biyolojik kapasitesi ise 1,31 kha’dır. Türkiye’de üretimin ekolojik ayak izi, biyolojik kapasitesinin yaklaşık 2 katına çıkmıştır. Diğer bir deyişle, Türkiye’de insanların 1 yılda tükettikleri doğal kaynakların yeniden üretimi ve atmosfere saldıkları CO<sub>2</sub>’nin tutulması için 2 yıla ihtiyaç vardır. Bu durum, Türkiye’nin mevcut üretim ve tüketim kalıbının sürdürülebilir olmadığı gerçeğini gözler önüne serilmektedir. Türkiye’nin toplam ekolojik ayak izinde en büyük payı %46 (kişi başı 1,17 kha) gibi yüksek bir oranla karbon ayak izi almaktadır (WWF, 2012b: 142).

Karbon Ayak İzi’ni oluşturan CO<sub>2</sub> emisyonları içinde en büyük pay ise %26 ile elektrik sektörüne aittir. Bunu sırasıyla imalat sanayi ve inşaat (%22), ithalat (%16), ulaştırma (%15), elektrik dışı konut ve hizmetler(%12) ve diğer bileşenler izlemektedir. Türkiye’nin karbon ayak izinin bileşenleri (WWF, 2012a) Çizelge 2.2’de yer almaktadır.

**Çizelge 2.2.** Türkiye’de Karbon Ayak İzinin Bileşenleri

Ekolojik Ayak İzinin Bileşenleri	Payları
Elektrik üretimi	0,26
İmalat sanayi ve inşaat	0,22
İthal ürünlerin gömülü emisyonları	0,16
Ulaştırma	0,15
Konut ve hizmetler	0,12
Uluslararası taşımacılık kaynaklı emisyonlar	0,04
Tarım, orman, balıkçılık	0,02

### 2.4. Dünya Ülkelerinde Karbon Ayak İzi

Toplumların ve bireylerin doğal işleyişle uyumlu olmayan tüketim kalıplarının gittikçe yaygınlaşması gezegen üzerindeki karbon ayak izinin büyümesine yol açmaktadır. Bu bağlamda karbon ayak izi, toplumsal ve bireysel tüketim faaliyetlerinin gezegen üzerinde yol açtığı etkinin boyutunu belirlemede, karşılaştırmada ve ortaya çıkan gerek küresel gerekse yerel sorunlara çözümler üretilmede önemli bir ölçme aracıdır (Wiedmann ve Minx, 2008; Lynas, 2009).

Ülkeler sahip oldukları ortalama karbon ayak izleri ile yaşam tarzlarını ve tüketim felsefelerini yansıtmaktadırlar. Hertwich ve Peters (2009) çalışmalarında farklı ülkelerdeki kişi başına düşen ortalama karbon ayak izi büyüklüklerini hesaplamışlardır. Ülkelere göre karbon ayak izi miktarı Çizelge 2.3’de verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Ülkelere göre karbon ayak izi miktarı

Ülke	Karbon ayak izi(ton $CO_2$ /kişi )	Evsel karbon Ayak izi payı (%)	Nüfus (Milyon)
Almanya	15,1	63	82,0
Amerika	28,6	82	277,5
Arjantin	6,5	88	37,5
Bangladeş	1,1	86	132,1
Belçika	16,5	46	10,3
Birleşik Krallık	15,4	62	59,3
Bulgaristan	6,1	81	8,1
Brezilya	4,1	88	172,3
Endonezya	1,9	89	213,3
Finlandiya	18,0	67	5,2
Fransa	13,1	64	59,5
Güney Amerika	6,0	90	43,4
Hindistan	1,8	95	1032,1
Hollanda	16,7	53	16,0
İtalya	11,7	62	57,5
Japonya	13,8	68	126,8

**Çizelge 2.3.** (devamı) Ülkelere göre karbon ayak izi miktarı

Kanada	19,6	75	31,2
Lüksemburg	33,8	56	0,4
Madagaskar	1,5	90	16,0
Malta	13,0	35	0,4
Malawi	0,7	83	11,3
Malezya	4,2	81	23,7
Mozambik	1,1	86	18,0
Norveç	14,9	44	4,5
Peru	2,6	83	26,1
Romanya	5,2	84	22,3
Rusya	10,1	92	145,7
Tunus	3,0	68	9,7
Türkiye	4,6	82	66,2
Uganda	1,1	91	22,6
Vietnam	1,7	80	79,5

Türkiye'nin karbon ayak izi kişi başına yaklaşık 4,6 ton CO<sub>2</sub> olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm ülkemizin karbon ayak izinin ortalama düzeyde olduğunu göstermektedir. Ayrıca toplumların ekolojik ayak izlerini ortaya koyan çalışmalar da benzer sonuçlara rastlanmaktadır (Wackernagel vd., 2005; WWF, 2012). Sonuç olarak toplumların ve bireylerin aşırı tüketim alışkanlıkları, ayak izini büyütücü ve dolayısıyla da doğaya yapılan baskıyı artırıcı etki yaratmaktadır.

## 2.5. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi

Borucke ve arkadaşları (2011), karbon ayak izi büyüklüğünü bulmak için aşağıda belirtilen formül doğrultusunda hesaplama yapmışlardır.

$$EF_c = \frac{P_c \cdot (1 - S_{\text{Ocean}})}{Y_c} * EQF$$

PC: Yıllık insan kaynaklı karbondioksit salınım miktarı

Socean: Okyanuslar tarafından tutulan yıllık karbondioksit salınım payı

YC: Yıllık ortalama bir hektarlık orman tarafından tutulan karbondioksit salınım ortalaması oranı

EQF: Eşdeğerlik Faktörü

Belirtilen karbon ayak izi hesaplama formülü toplumsal ölçekte düşünüldüğünde, ortalama ulusal tüketim ve ortalama biyolojik verimli alan göz önüne alınarak kullanılmaktadır. Lynas (2009) bireysel karbon ayak izi büyüklüğünü basit bir şekilde aşağıdaki gibi formüle etmiştir.

Bireysel Karbon Ayak İzi=Evsel Karbon Salınımı + Ulaşım Karbon Salınımı + Gıda Karbon Salınımı

Formülde yer alan evsel karbon salınımı, aydınlatma ve ısınma amaçlı enerjinin; ulaşım karbon salınımı, ulaşım tercihi başvurulan aracın; gıda karbon salınımı ise günlük hayatta tüketilen besinlerin üretim, tüketim ve atık sürecinde ortaya çıkan karbondioksit gazı miktarını kapsamaktadır. Bu formülde bireysel karbon ayak izi kilogram cinsinden hesaplanmaktadır. Literatürdeki diğer çalışmalarda kullanılan hesaplama araçlarında da karbon ayak izi büyüklükleri kütle birimleri (kilogram, ton vs.) ile ifade edilmektedir (Wiedmann ve Minx, 2008; Kenny ve Gray, 2009; WWF, 2009; Röös, Sundberg ve Hansson, 2011). Öte yandan alan birimleri (m<sup>2</sup>, ha vs.), çevriminde farklı varsayımları içermesi, ölçüm sonuçlarındaki belirsizliği ve hatayı artırması nedeniyle karbon ayak izi büyüklüğü birimi olarak kullanılmamaktadır (Lenzen, 2006)

## 2.6. Literatür Özeti

Ertekin (2012), yapmış olduğu çalışmada sürdürülebilir kaynak kullanımına yönelik çevre eğitimi uygulamalarının, ilköğretim öğrencilerinin karbon ayak izi konusunda bilinçlendirilmeleri üzerindeki etkisini belirlemiştir. Araştırmada, tek gruplu ön test son test araştırma modeli kullanmıştır. Araştırmanın uygulanması sırasında ilköğretim öğrencilerinin sürdürülebilir kaynak kullanımı ve karbon ayak izi konularında öğrencilerin aktif katılımını içeren öğretim modülleri düzenlemiştir. Araştırmada veri toplama aracı olarak “karbon ayak izi bilgi testi”, “karbon ayak izi hesaplama anketi” ve “araştırmacı notları” kullanılmıştır. Araştırmadan elde edilen verilerin analizi için SPSS 20.0 paket programını kullanmıştır. Araştırmadan elde edilen bulgular doğrultusunda sürdürülebilir kaynak kullanımına yönelik çevre eğitimi

uygulamalarının ilköğretim öğrencilerinin karbon ayak izine yönelik bilgi düzeylerini anlamlı düzeyde arttırdığı ayrıca karbon ayak izi büyüklüklerini anlamlı düzeyde küçülttüğü sonucuna ulaşmıştır.

Ünaldı (2016), yapmış olduğu çalışmada yeşil pazarlama ve karbon ayak izi kavramlarını ayrıntılı olarak incelemiştir. Kavramlar arasındaki ilişkiler, etkileşim düzeylerini inceleyerek saha araştırması ile desteklemiştir. Saha araştırmasını Çorum ilinde gerçekleştirmiş olup, Çorum ili merkezinde ikamet eden tüketicilerin yaşam tarzı ve çevresel algı düzeylerine bağlı olarak Çorum ilinde ve dolayısıyla da dünya üzerinde yaratmış oldukları ayak izi derinliklerini belirlemiştir. Çorum ili merkezinde ikamet eden 432 tüketiciden elde edilen anket verilerini SPSS 18.0 paket programında analiz etmiştir. Tüketicileri kümeleme yöntemiyle derin, orta ve yüzeysel ayak izi derinliklerine göre 3 gruba ayırmıştır. Çevresel değer algıları ve yaşam tarzlarına göre ayak izi derinlikleri arasında fark olup olmadığını Anova yöntemiyle test etmiştir. Buna göre araştırmaya katılan tüketicilerin yaşam tarzlarına göre Çorum ilinde yaratmış oldukları ayak izi derinlikleri arasında cinsiyet, yaş, medeni hal ve eğitim düzeylerine de bağlı olarak fark olduğu, çevresel değer algı düzeylerine göre ise, ayak izi derinlikleri arasında fark olmadığını belirlemiştir.

Gültepe Mataracı (2016), yapmış olduğu çalışmada son yıllarda önemi gitgide artmakta olan ve sürdürülebilir bir işletmecilik anlayışının benimsendiği yeşil liman kavramı ve yine çevre konuları arasında en dikkat çekici konulardan biri haline gelmiş olan iklim değişikliği ve karbon ayak izi konularını incelemeye almıştır. Bir liman işletmesinde karbon ayak izi değerlendirmesinin nasıl yapılabileceğine ilişkin örnek bir uygulama ortaya koymuştur. ISO 14064-1 standardı çerçevesinde, IPCC ve GHG Protocol metodolojileri kullanılarak yaptığı hesaplama sonucunda limanın karbon ayak izini belirlemiştir. Limanın karbon ayak izinde, hesaplama dahil edilen emisyon kaynaklarından; liman genelindeki elektrik kullanımının % 41,78, kara yolu harici araçların % 39,22, lastik tekerlekli mobil liman vinçlerinde elektrik kullanımının % 15,17, kalorifer kazanının % 1,76, kara yolu araçlarının % 1,44, mutfak ocaklarının % 0,34, jeneratörün % 0,19, makine ekipmanların % 0,06, kaynak işlemlerinin ise % 0,04 paya sahip olduğunu belirlemiştir. Çalışma kapsamında limanın 2015 yılı karbon ayak izi hesaplaması dışında, limanda yapılan çevresel iyileştirmeler olan 2014 yılında led aydınlatmaya ve 2015 yılında E-MHC kullanımına geçilmesi uygulamalarının sera gazı emisyonu miktarındaki etkisini gözlemlemiştir. Limanda yapılan çevresel iyileştirme çalışmalarının sera gazı emisyonu miktarında toplam % 14 düşüş sağladığı sonucuna ulaşmıştır.

Sunturlu (2017), yapmış olduğu çalışmada turizm sektöründe faaliyet gösteren teknelerin Karbon Ayak İzini Fethiye Örneği ile ortaya koymayı amaçlamıştır. Öncelikle hedef tekneleri belirleyerek bu teknelerin 2011 ile 2014 yılları arasındaki niceliksel değişimlerini tespit etmiştir. Daha sonra söz konusu tekneleri cinslerine göre kategorize etmiş ve 2014 yılı için bu teknelerin sayılarını, ana ve yardımcı makine güçlerini, sefer bölgelerini ve sefer sayılarını bulmuştur. Her bir gruba ait teknelerin ayrı ayrı yakıt tüketimleri sefer ve rota bazlı analizler yaparak hesaplamış ve elde edilen veriler toplanarak teknelerin toplam yakıt tüketimlerine ulaşmıştır. Bulunan yakıt tüketim değerleri literatürden elde edilen emisyon faktörü ve dönüşüm oranı ile işleme tabi tutarak teknelerden kaynaklanan sera gazı miktarı toplam CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak bulmuş ve teknelerin Karbon Ayak İzini ortaya koymuştur. Çalışma neticesinde, 2014

yılında Fethiye’de turizm sektöründe faaliyet gösteren 276 adet teknenin toplam 5919,6 ton/yıl CO<sub>2</sub> eşdeğeri Karbon Ayak İzi oluşturduğu saptamıştır. Çalışma kapsamındaki tekne sayısının 2011-2014 yılları arasında %9,2 artış gösterdiğini, bu artışa paralel olarak teknelerin yakıt tüketiminin arttığını ve Karbon Ayak İzinin de büyüdüğü tespit etmiştir

Toröz (2015), yapmış olduğu çalışmada ülkemizde, dünyada ve birçok Avrupa ülkesinde karbon ayak izi konusundaki yaklaşımları, farklılık gösteren işletmelerdeki metodoloji seçimlerini hesaplamalarını ve sonuçlarını incelemiştir. Seçilen bir atık kabul tesisinde gemilerden atık alınmasını, atığın bertarafına kadar olan süreci incelemiş, proses çalışması yapmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda tesise ait sera gazı emisyon envanterini çıkarmıştır. Sera gazı envanterine yönelik işletmeden kaynaklanan karbon salımlarını azaltmak için çeşitli önerilerde bulunmuştur. Bu öneriler sonucunda sera gazı emisyon değerlerini IPCC verilerine göre hesaplamış ve maliyet analizini çıkarmıştır.

Özlem (2013), yapmış olduğu çalışmada ülkemizin ve bazı Avrupa ülkelerinin karbon ayak izi konusundaki elektrik üretim ve tüketimlerine bağlı yaklaşımları incelemiştir. Seçilen bir kağıt üretim tesisinde proses incelemesi yapmıştır. 2011 yılına ait elde edilen veriler doğrultusunda tesise özgü bir model geliştirmiştir. Model çerçevesinde tesisin üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbondioksit emisyon miktarını tesis bölümlerini baz alarak hesaplamıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen bulgular çerçevesinde tesisin belirtilen kapsamdaki faaliyetlerinden ortaya çıkan CO<sub>2</sub> salımının 98.896.057 kg olduğunu hesaplamıştır. Şirket araçlarından kaynaklı CO<sub>2</sub> miktarı 52.372 kg olduğuna göre toplamda tesisin 98.948.429 kg, bir başka ifadeyle 98.948 ton CO<sub>2</sub>salımına sahip olduğunu bulmuştur. CO<sub>2</sub> salımını azaltmak için çözüm önerilerinde bulunmuştur.

Pehlivan (2016), yapmış olduğu çalışmada limanların çevresel etkilerine değinmiştir. Limanlardan ne tür atıklar çıktığını, miktarlarını, bertaraf yöntemleri gibi konuları incelemiştir. Küresel ısınma ve sera etkisi gibi kavramlarla birlikte hayatımıza giren karbon ayak izi kavramına değinmiştir. Limanlar özelinde emisyon kaynakları, emisyon miktarları ve bu kaynaklardan biri olan gemiler için karbon ayak izi hesaplamalarını yapmıştır.

Koca (2017), yapmış olduğu çalışmada, yeşil çatı sistemlerinin teknik bilgi ve tasarımının, sürdürülebilir kentsel yaşamdaki; ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerinin literatürlerle değerlendirilmesini amaçlamıştır. Türkiye ve Dünya’dan örneklerle, belli bir bölge için yeşil çatı sistemlerinin uygulanması durumunda, seçilen binalar için sağlayabileceği ekonomik faydaları hesaplamıştır.

Küçüker (2017), yapmış olduğu çalışmada literatürdeki boşluğun doldurulmasını amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda çevresel maliyetler çerçevesinde karbon maliyetlerini ve sürdürülebilir çevre açısından değerlendirilmesi konularını incelemiştir. Ayrıca karbon salımlarına dayalı finansal işlemlerin muhasebe sisteminde meydana getireceği değişiklikleri de çalışma kapsamında genel hatlarıyla ele almıştır.

Kınacı (2015), yapmış olduğu çalışmada bir örnek bina üzerinden üç ayrı sertifika programı incelemiştir. Hesaplama yöntemleri ve sonuçları karşılaştırmıştır. Tez

kapsamında, öncelikle zemin kat, üç normal kat ve çatısı bulunan bir bina için örnek bir çalışma tanımlanmıştır. Farklı bölgelerdeki benzer iklim koşullarında yer alan örnek bina, yapı elemanları değiştirmeden üç enerji standardına göre analiz etmiştir. Yapılan analiz sonucunda çıkan sonuçları enerji hesaplama yöntemlerindeki ve hesaplama programlarındaki farklılıklar açısından değerlendirmiştir. Sonuçları hesaplamak için BEP-TR, PHPP ve E-QUEST enerji hesaplama programlarını kullanmıştır. Programlardaki farklılıklar her hesaplama yönteminin bağlı bulunduğu ülkedeki kanun, standart ve yönetmeliklerden kaynaklandığı gibi her hesaplama yönteminin kabul edilebilir standart değerleri de farklıdır. Bu farklılıkları ve bunların enerji performans değerlendirmesine etkisini belirlemiştir.

Erdoğan (2015), yapmış olduğu çalışmada katı atık bertaraf senaryoları ve atık su arıtım senaryoları sera gazı emisyonları açısından incelemiştir. Atık depolama tesisi, kompostlaştırma tesisi, biyometanizasyon tesisi, anaerobik stabilizasyon havuzu, biyolojik atık su arıtma tesisi (aktif çamur prosesi) ve ileri atık su arıtma tesislerinden kaynaklanan CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gibi sera gazı emisyonlarını hesaplayarak karşılaştırmıştır. Atık bertarafı ve atık su arıtım senaryolarını irdelemiştir. Katı atık senaryolarından kaynaklanan sera gazları hesapları karbondioksitin emisyonlara dahil edildiği ve edilmediği durum için ayrı ayrı hesap etmiştir. IPCC Ulusal Sera Gazı Envanteri Klavuzuna göre emisyon hesaplamalarında karbondioksit emisyonları hesaba katılmamaktadır. Ancak katı atık senaryolarında karbondioksit emisyonları da hesaba katılarak reel durumun analizini yapmıştır. Yapılan incelemelere göre atık bertarafında atık depolama tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının en yüksek miktarlarda oluştuğunu gözlemiştir. Atık bertaraf yöntemlerinden kompostlaştırma ve biyometanizasyon tesisleri karşılaştırıldığında karbondioksit emisyonunun hesaplamalara dahil edildiği durumda biyometanizasyon kaynaklı sera gazı miktarlarının kompostlaştırmaya göre daha yüksek miktarda oluştuğunu belirlemiştir.

Yaka (2015), yapmış olduğu çalışmada Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu'nun karbon ayak izini çıkartmıştır. Bunun için Annex 2014 hesaplama kriterlerini kullanmıştır. Elde edilen verilere göre binanın karbon ayak izi miktarını 98.307 kg/yıl olarak hesaplamıştır. Karbon ayak izini, binadaki toplam elektrik enerjisi tüketimini, yükseköğretim personelinin günlük ulaşım değerlerini ve personel araçlarının kullandığı yakıt türlerini göz önünde bulundurarak hesaplamıştır.

Keskin vd. (2017), yapmış olduğu çalışmada kumaş üretimi sırasında enerji ve karbon ayak izlerine katkıda bulunan en önemli bileşenleri belirlemiştir. Enerji ve karbon ayak izlerini, IPCC 2006 kılavuzunu esas alınarak ve tier yaklaşımları kullanılarak hesaplamıştır. İncelenen tekstil şirketindeki enerji ve karbon ayak izlerini sırasıyla 87,7 kWh/kg-kumaş ve 31,2 kg-CO<sub>2</sub>e /kg-kumaş olarak hesaplamıştır. Karbon ve enerji ayak izlerinde baskın olan katkıların buhar kazanları, iklimlendirme sistemleri ve bitiş işlemleri olduğunu belirlemiştir.

Elbasan (2015), yapmış olduğu çalışmada yol eğimlerini dikkate alarak karbon emisyonunu azaltmaya yönelik bir model tasarlamayı amaçlamıştır. Bu amaçla, karma tamsayı bir matematiksel model önermiştir. Önerdiği modeli İstanbul'un Anadolu yakasındaki ilçelerde gerçekleştirilen eşzamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi için örneklemiştir. Düşümler arasındaki bütün yollar için yol eğimlerini dikkate alarak revize edilmiş uzaklıklar bulmuştur. Ayrıca büyük problemler için, en iyi sonucu garanti

etmeyen fakat problemlere daha kısa sürede sonuç elde edilebilen tavlama benzetimi algoritmasını önermiştir. Yeşil lojistik kapsamında elde edilen sonuçları klasik topla dağıt araç rotalama probleminin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

Karaçor vd. (2010), yapmış oldukları çalışmada, çevre dostu yaklaşıma sahip olan peyzaj mimarlığı disiplini içerisinde yapılan uygulamalarda kullanılan yapısal elemanların karbon ayak izlerinin değerleri üzerinden, uygun malzeme kullanımı üzerine öneriler getirmişlerdir. Kiremit, beton, ahşap, demir, çelik, alüminyum ve plastik elemanlar gibi peyzaj mimarlığının çalışma alanlarında kullanılan materyallerin karbon ayak izlerinin değerlendirilmesi için konuya ilişkin yerli ve yabancı literatürleri incelemişlerdi. Ayrıca bu meslek disiplininin uygulayıcısı olan peyzaj mimarlarının tasarım ve planlarında nelere dikkat etmesi gerektiği konular üzerinde durmuşlardır.

Koçer (2016), yapmış olduğu çalışmada bir yazılım vasıtasıyla bir konutun elektrik ihtiyacının tamamının Fotovoltaik paneller ile sağlanması için gereken panel sayısının tespitini amaçlamıştır. İlgili yazılımı Visual Studio 2012 alt yapısında VB.Net programlama dilinde yazmıştır. Yazılım ara yüzüne tüketim türlerini, güçlerini ve çalışma saatlerini girerek toplam elektrik tüketimini hesaplamıştır. Sistem için 200 Wp'lik fotovoltaik panel seçerek gerekli panel sayısını hesaplamıştır.

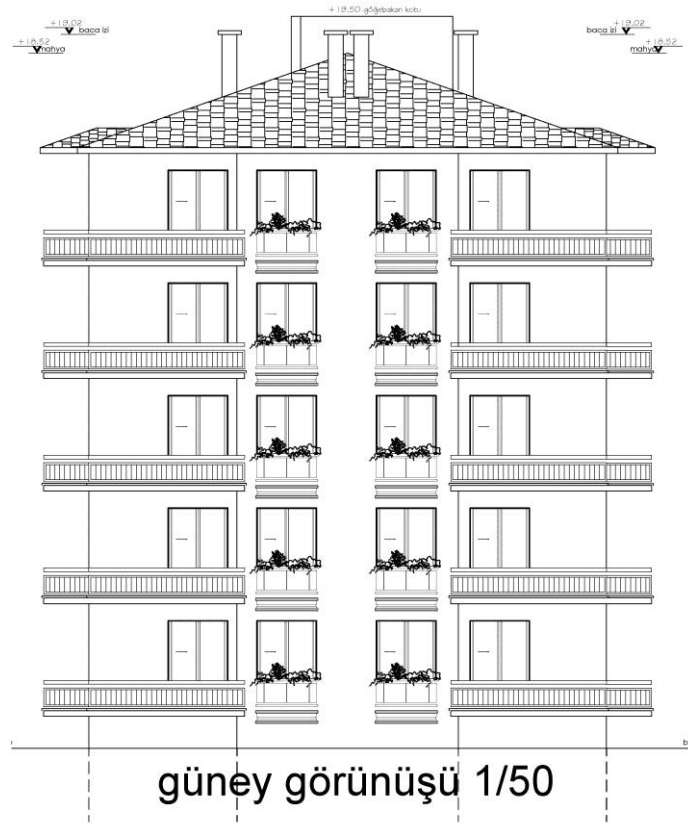


### 3. MATERYAL VE METOT

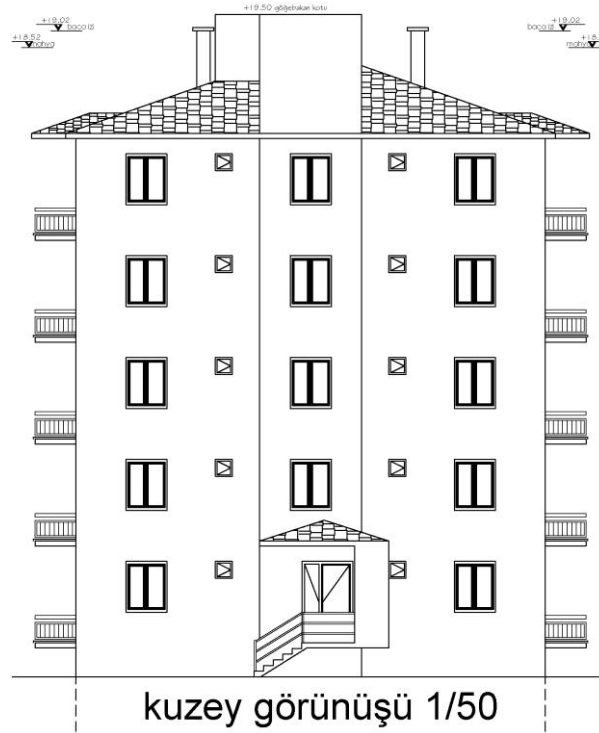
Bu bölümde karbon ayak izinin hesaplanması için seçilen binanın genel özellikleri ve karbon ayak izi hesabı, enerji hesabı hakkında detaylı olarak bilgi verilmiştir. Karbon ayak izi için emisyon dönüşüm katsayıları, enerji hesabı için yapılan kabuller ve hesaplamalar, örnek bina için ise detaylı mimari özellikleri belirtilmiştir.

#### 3.1. Örnek Bina

Karbon ayak izi hesabı için seçilen örnek binanın güney ve kuzey dış cephe görünümü sırasıyla Şekil 3.1 ve 3.2’de detaylı olarak görülmektedir. Bina Antalya ilindedir. Çift daire ve 5 katlı betonarme bir yapıdır.



Şekil 3.1. Örnek binanın güney cephe görünümü

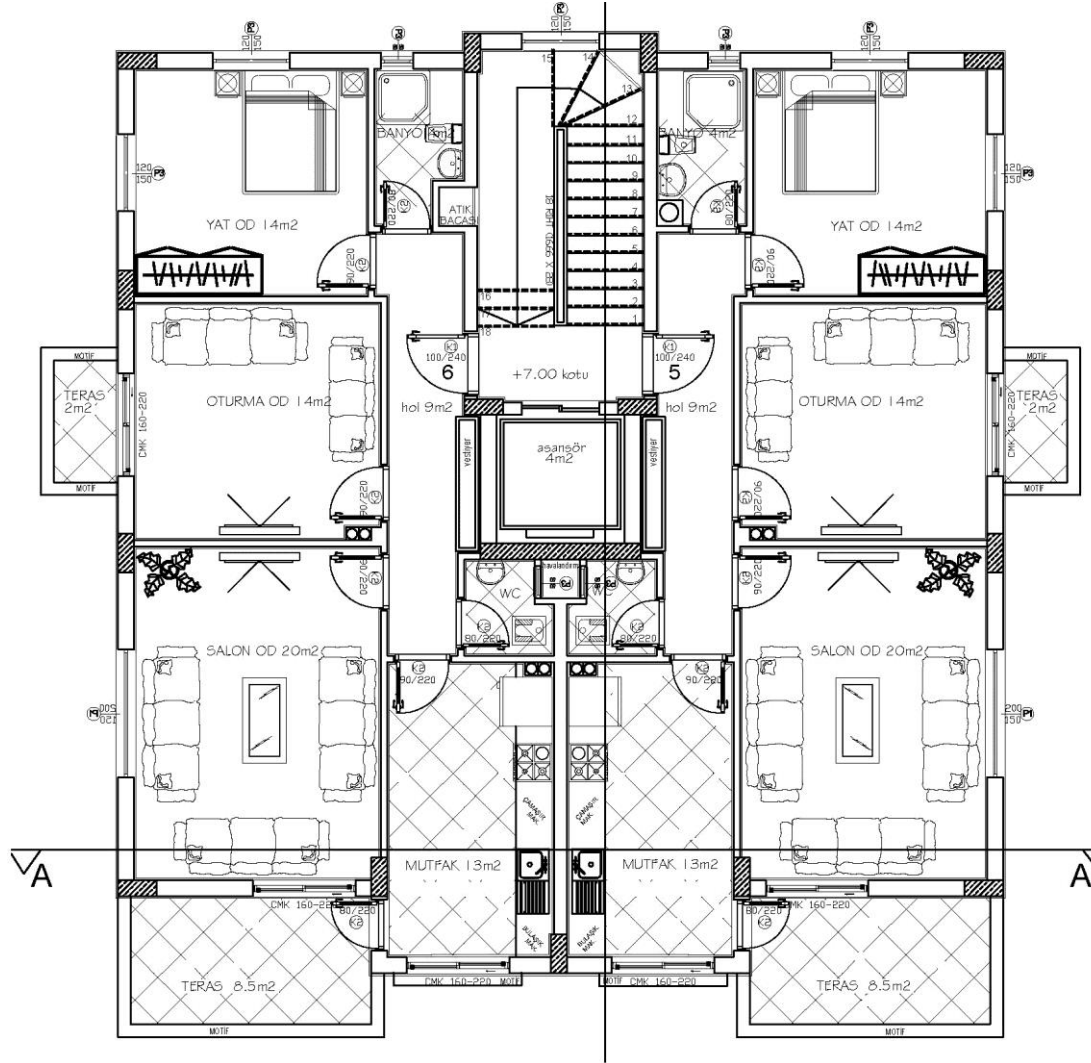


**Şekil 3.2.** Örnek binanın kuzey cephe görünümü

Örnek bina balkonlar dahil 86,5 m<sup>2</sup> genişliğe sahiptir. 2 oda 1 salon olarak yapılan dairenin mimari görünümü Şekil 3.2’de detaylı olarak verilmiştir. Bina çift daire üzerine 5 katlı olarak inşa edildiği için toplamda 10 adet daire bulunmaktadır. Bina m<sup>2</sup> dağılımı Çizelge 3.1’de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Bina m<sup>2</sup> dağılımı

Oturma Odası	14 m <sup>2</sup>
Salon	20 m <sup>2</sup>
Yatak Odası	14 m <sup>2</sup>
Mutfak	13 m <sup>2</sup>
Hol	9 m <sup>2</sup>
Banyo	4 m <sup>2</sup>
Tuvalet	2 m <sup>2</sup>
Balkon	10,5 m <sup>2</sup>
Toplam	86,5 m <sup>2</sup>



Şekil 3.3. Örnek binanın mimari çizimi

### 3.2. Isı Kaybı Hesabı

Tez çalışması kapsamında seçilen örnek binanın detaylı olarak ısı kaybı hesabı yapılmıştır. Bina ısı kaybı hesabında yapı bileşeninin cinsi ve bileşenin alan büyüklüğüne bağlı olarak detaylı ısı kaybı hesaplanmıştır. Her kat için ısı kaybı hesabı ayrı ayrı yapılmıştır. Bina için özgül ısı kaybı hesabı Çizelge 3.2’de detaylı ısı kaybı çizelgesinin bir kısmı da Çizelge 3.3’de verilmiştir. Tüm bina için detaylı ısı kaybı çizelgesi ek açıklamalar bölümünde verilmiştir. Bütün hesaplamalar TS-8252’e göre yapılmıştır.

Çizelge 3.2. Özgül ısı kaybı hesabı

BINADAKİ YAPIELEMANLARI		Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı
		d	$\lambda_h$	R	U	A	A x U
		(m)	(W/mK)	(m <sup>2</sup> K/W)	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup>	W/K
DH-1-Duvar( Dış Hava Teması)							
1/α <sub>i</sub>	Yüzeysel ısı iletim katsayısı(iç)			0,13			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,03	1,0	0,03			
7.1.4.2.5	TS EN 998-2 ye uygun ve yoğunluğu≤1000 harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,24	0,22	1,09			
4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,03	0,70	0,04			
1/α <sub>d</sub>	Yüzeysel ısı iletim katsayısı(dış)			0,04			
TOPLAM				1,33	0,75	510,28	382,71
DH-2-Duvar( Dış Hava Teması)							
1/α <sub>i</sub>	Yüzeysel ısı iletim katsayısı(iç)			0,13			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,03	1,0	0,03			
10.3.3.1.3	Poliüretan sert köpük - TS 2193,TS10981, TS EN 13165 e uygun;yoğunluk ≥30; ısı iletkenlik grubu035	0,05	0,035	1,43			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS500euygun) doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar	0,25	2,5	0,1			
4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,03	0,70	0,04			
1/α <sub>d</sub>	Yüzeysel ısı iletim katsayısı(dış)			0,04			
TOPLAM				1,77	0,565	167,03	94,37
CC-1-Tavan( Üzeri Çatılı)							
1/α <sub>i</sub>	Yüzeysel ısı iletim katsayısı(iç)			0,13			
10.3.3.1.3	Poliüretan sert köpük - TS 2193,TS10981, TS EN 13165 e uygun;yoğunluk ≥30; ısı iletkenlik grubu035	0,05	0,035	1,43			
4.6	Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,04			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS500euygun) doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar	0,07	2,5	0,03			
99.1.3	Bims Asmolen	0,25	0,46	0,54			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,03	1,0	0,03			
1/α <sub>d</sub>	Yüzeysel ısı iletim katsayısı(dış)			0,08			
TOPLAM				2,28	0,8x0,4388	175	61,43
TO-1-Taban( Isıtılmayan İç Ortamla Bitişik)							

**Çizelge 3.2.** (devamı) Özgül ısı kaybı hesabı

1/a <sub>i</sub>	Yüzeysel ısı iletim katsayısı(iç)			0,17			
8.1.1	İğne yapraklı ağaçlardan elde edilmiş olanlar	0,008	0,13	0,06			
4.6	Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,04			
10.3.3.1.3	Poliüretan sert köpük - TS 2193,TS10981, TS EN 13165 e uygun;yoğunluk $\geq 30$ ; ısı iletenlik grubu035	0,05	0,035	1,43			
5.1.1	Donatılı - Normal beton (TS500e uygun) doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar	0,07	2,5	0,03			
99.1.3	Bims Asmolen	0,25	0,46	0,54			
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,03	1,0	0,03			
1/a <sub>d</sub>	Yüzeysel ısı iletim katsayısı(dış)			0,17			
TOPLAM				2,47	0,5x0,4044	175	35,38
PENCERE1					2,4	174,1	417,84
KAPI1					3,5	2,1	7,35

Örnek bina için ısı kaybı hesabı sonucu şu şekilde bulunmuştur:

İletim Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı, H <sub>i</sub>	=999,08	W/K
Havalandırma Yolu ile Gerçekleşen Isı Kaybı, H <sub>v</sub>	=598,75	W/K
Binanın Toplam Isı Kaybı, H = H <sub>i</sub> +H <sub>v</sub>	=1597,83	W/K

Çizelge 3.3. Isı kaybı hesabı çizelgesi

YAPİBİLEŞENİ			ALANHESABI						ISIKAYBI			ZAMLA			
İşaret	Yön	Kalınlık	Uzunluk	Yükseklik Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Toplam Isı Geç. Katsayı	Sıcaklık Farkı	Arttırılmısz Isı Kaybı	Birleşik	Yön	Toplam	Toplam Isı İhtiyacı
		cm	m	m	m <sup>2</sup>	Ad	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> .K	°c	W	%	%	1+%	W
				0	Z01	(20									
Plastik	G	0	1.6	2.2	3.52	1	0	3.52	2.4	17	143.62				
DI	G	0	2.6	3	0	1	3.52	4.28	0.75	17	54.57				
	D	0	0.8	2.2	1.76	1	0	1.76	3.5	17	104.72				
DI	D	0	0.95	3	0	1	1.76	1.09	0.75	17	13.9				
ç	K	0	0.9	2.2	1.98	1	0	1.98	2.9	10	57.42				
DI	K	0	2.6	3	0	1	1.98	5.82	2.16	10	125.71				
											499.94	15	-5	1.1	550.0
			Qs=	1/3.6x(2	x9.9	x0.7	x3.52	x17	x1.00)						461.0
															1011.0
				0	Z02	(20									
Plastik	G	0	1.6	2.2	3.52	1	0	3.52	2.4	17	143.62				
DI	G	0	3.85	3	0	1	3.52	8.03	0.75	17	102.38				
Plastik	D	0	2	1.5	3	1	0	3	2.4	17	122.4				
DI	D	0	5.2	3	0	1	3	12.6	0.75	17	160.65				
ç	B	0	0.9	2.2	1.98	1	0	1.98	2.9	10	57.42				
DI	B	0	1.7	3	0	1	1.98	3.12	2.16	10	67.39				
											653.86	15	-5	1.1	720.0
			Qs=	1/3.6x(2	x9.9	x0.7	x3.52	x17.0	x1.00)						485.0
															1204.0

### 3.3. Isı İhtiyacı Hesabı

Örnek bina için detaylı olarak yapılan ısı kaybı hesabının ardından bina için toplam gerekli ısı ihtiyacı hesabı da yapılmıştır. Yıllık olarak hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı ısı kayıp ve kazançları göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Yıllık olarak hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı Çizelge 3.4’de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$H=H_i+H_v$	$T_i - T_d$	$H(T_i - T_d)$	$\phi_i$	$\phi_g$	$\phi_T = \phi_g + \phi_i$			
	(W/K)	(K, °C)	(W)	(W)	W	(W)			
Ocak	1598	10,6	16.937	4.536	4.406	8.942	0,53	0,85	24.210.309
Şubat	1598	10	15.978	4.536	5.479	10.015	0,63	0,797	20.722.127
Mart	1598	7,4	11.824	4.536	6.527	11.063	0,94	0,657	11.820.610
Nisan	1598	3,2	5.113	4.536	7.285	11.821	2,31	0,351	2.494.105
Mayıs	1598	Tdyüksek	(-)	4.536	8.439	12.975	(-)	(-)	
Haziran	1598	Tdyüksek	(-)	4.536	8.899	13.435	(-)	(-)	
Temmu	1598	Tdyüksek	(-)	4.536	8.652	13.188	(-)	(-)	
Ağustos	1598	Tdyüksek	(-)	4.536	8.094	12.630	(-)	(-)	
Eylül	1598	Tdyüksek	(-)	4.536	6.803	11.339	(-)	(-)	
Ekim	1598	0,5	799	4.536	5.521	10.057	12,59	(-)	
Kasım	1598	6	9.587	4.536	4.167	8.703	0,91	0,668	9.788.467
Aralık	1598	9,7	15.499	4.536	3.857	8.393	0,54	0,842	21.851.254

Örnek binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı toplam olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam } Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 90.886.871 \text{ kJ}$$

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 1/1000 \times 90.886.871 = 25.267 \text{ kWh}$$

$$\text{Bu bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı} \quad Q' = 9,39 \text{ kWh /m}^3$$

$$\text{Bu bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı} \quad Q = 8,91 \text{ kWh /m}^3$$

$Q < Q'$  olduğundan bu bina için yapılmış olan ısı yalıtım projesi TS 825 standardına uygundur.

### 3.4. Karbon Ayak İzi Hesaplama Yöntemi

Örnek binanın karbon ayak izi hesabı yapılırken Defra'nın yayınlamış olduğu standartlar göz önüne alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Direkt CO<sub>2</sub> salınımı ve eşdeğer CO<sub>2</sub> salınımı birlikte hesaplanmıştır. Her ikisi salınım değeri toplandığında net CO<sub>2</sub> salınımı elde edilmektedir.

İngiltere Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı olan Defra her yıl düzenli olarak karbon emisyonları ile ilgili katsayılar ve hesaplama yöntemi yayınlamaktadır. Gıda tüketiminden ulaşıma kadar geniş bir ağ için her yıl karbon emisyon katsayıları güncellenmektedir.

Karbon ayak izi hesabı iki şekilde yapılmıştır:

İlk olarak binanın standart olarak enerji hesaplarından elde edilen verileri kullanarak yapılan hesaplamalar.

İkinci olarak ise binada her bir dairede 4 kişilik çekirdek bir aile olduğu kabul edilmiş ve bu ailelerin tüketimleri göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Her iki hesaplama şeklinde de ihtiyaç duyulan enerji miktarı farklı yakıtlar kullanılarak karşılanmıştır. Bu sayede yakıtların değişimine göre karbon ayak izi hesabı yapılmıştır.

Standart olarak enerji hesaplarından elde edilen verileri kullanılarak yapılan hesaplamalarda yıllık ihtiyaç duyulan ısınma enerjisi ihtiyacı kömür, doğalgaz ve elektrikten ayrı ayrı karşılandığı düşünülmüştür. Yıllık ısınma enerjisi ihtiyacı birimleri cinsinden doğalgaz, kömür ve elektriğe çevrilmiştir. Çekirdek aile için yapılan hesaplamalar ise Türkiye ortalamasında bir ailenin tüketim değerleri göz önüne alınarak yapılmıştır.

Karbon ayak izi hesabı için kullanılan katsayılar tüketim tipine ve birimlerine göre eşdeğer ve direkt salınım katsayıları göz önüne alınarak Çizelge 3.5'de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Karbon ayak izi hesaplama katsayıları

Tüketim Tipi	Birim	Kg CO <sub>2</sub>	Kg CO <sub>2</sub> e	Toplam CO <sub>2</sub>
Doğalgaz	m <sup>3</sup>	2,092	2,096	4,189
Elektrik	Kw	0,526	-	0,526
Kömür	Ton	2.632,92	2.861,96	5494,88
Su	Ton	-	0,708	0,708



### 3.5. Karbon ayak izini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı

Karbon ayak izinin azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı çok önemlidir. Ancak konutlarda bu enerji kaynaklarının bir kısmı kullanılabilir. Rüzgar, biyogaz ve jeotermal enerji kaynakları bölgesel kaynaklar olduğu için bu kaynaklar her binada kullanılmaz. Ancak güneş enerjisinin tüm ülke genelinde olması, ucuz ve kolay kurulabilir olması diğer kaynaklara göre en büyük avantajlarıdır.

Konutlarda güneş enerjisinden iki şekilde yararlanılabilir:

- Fotovoltaik Panellerle Elektrik Üretimi
- Sulu Termal Isıtma Sistemleri

Her iki yöntemde tüm konutlara kolay bir şekilde uygulanabilir ve enerji ihtiyacının bir kısmını karşılar.

#### 3.5.1. Fotovoltaik panellerle elektrik üretimi

Bir güneş pilinin standart test şartları altında elde ettiği güç  $W_p$  (Wattpeak/vat tepe noktası) olarak tanımlanır. Sistem için 200  $W_p$ 'lik fotovoltaik panel seçilerek eşitlik 3.1 ile gerekli panel sayısı hesaplanmıştır.

$$N_{PV} = \frac{E}{\mu} \quad (3.1)$$

$N_{PV}$ , gerekli panel sayısı; E, elektrik ihtiyacı;  $\mu$  panel üretim faktörü olup Avrupa Ülkeleri için 2.93 olarak alınmaktadır (Koçer 2016).

Dört kişilik bir ailenin elektrik enerjisi tüketimi yıllık olarak 3038,4 KWh olarak hesaplanmıştır. Bu tüketim değeri daire başına olduğu için tüm binanın yıllık elektrik enerjisi tüketimi 10 ile çarpılarak 30384 KWh olarak bulunur.

Bir yıl 52 hafta ve 365 gün olarak kabul edildiği için binanın toplam elektrik tüketimi 365'e bölüldüğünde günlük olarak ortalama elektrik tüketimi bulunmuş olur. Sonuç olarak günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyacı 83,2 KWh olarak hesaplanmıştır. Panellerden kaynaklanan kayıplar dikkate alınarak elektrik ihtiyacı %30 arttırılarak hesap yapılmıştır. Bu durumda günlük elektrik enerjisi ihtiyacı 108,16KWh olarak belirlenmiştir. Buradan ihtiyaç duyulan panel sayısı 36,9 yani 37 adettir.

200  $W_p$ 'lik bir panelin boyutları 1490x990x34 mm'dir. Panel alanı 1,475  $m^2$  yaklaşık olarak 1,5  $m^2$  kabul edilebilir. 37 adet tespit edilen panel için yaklaşık olarak 55,5  $m^2$ 'lik bir alana ihtiyaç vardır.

### 3.5.2. Sulu termal sistemler ile sıcak su üretimi

Sulu termal sistemler genel olarak evsel kullanıma bağlı sıcak su ihtiyacını karşılamakta kullanılmaktadır. Bu sistemlerin konutların ısıtmaları için kullanılması genel olarak pahalıdır. Bu yüzden bu çalışmada binanın sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla termal sistemlerin hesabı yapılmıştır.

Kişi başına ortalama sıcak su tüketimi 60 lt/gün olarak alınmıştır. Bu aile 4 kişilik ve örnek binada 10 daire olduğu var sayılırsa toplam olarak gerekli günlük sıcak su miktarı 2400 litre'dir. Gerekli ısı miktarı denklem 3.2 ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{\text{gerekli}} = m \times C_p \times (T_w - T_m) \quad (3.2)$$

Kollektörden alınabilecek faydalı ısı enerjisi 3.3 numaralı denklem ile gerekli olan kollektör yüzeyi ise 3.4 numaralı denklem ile tespit edilmektedir. Gerekli ısı miktarı 347 Mj olarak belirlenmiştir. Şebeke suyu sıcaklığı 15.4 °C ve istenilen su sıcaklığı da 50 °C olarak kabul edilmiştir (Koçer 2015).

$$Q_{\text{faydalı}} = H_T \times \eta_{\text{kol}} \times \eta_m \quad (3.3)$$

$$A_c = Q_{\text{gerekli}} \div Q_{\text{faydalı}} \quad (3.4)$$

Faydalı ısı miktarı hesaplanırken ise kollektör çift cam örtülü yutucu yüzeyli kollektör seçilmiş olup verimi yıllık olarak 0,45 alınmıştır. Sistem verimi ise 0.80 alınmıştır.  $H_T$  değeri en düşük olan Aralık ayına göre alınmıştır (Koçer 2015).

Bu değerler kapsamında yapılan hesaplamalar sonucu 93,5 m<sup>2</sup>'lik bir alana ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Bir kollektörün alanı 1,6 m<sup>2</sup> olduğuna göre toplam kollektör sayısı 59 adet tespit edilmiştir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında incelenen örnek binanın enerji tüketimine bağlı olarak karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Yapılan bu hesaplama ek olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı sonucu karbon ayak izinin hangi oranda azaltılacağı da incelenmiştir.

##### 4.1. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacına Göre Karbon Ayak İzi

Çalışmada Antalya ilinde balkon alanları dahil 86,5 m<sup>2</sup>'lik çift daire üzerine kurulu beş katlı bir binanın karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Binanın karbon ayak izi hesabı standartlar kapsamında yapılan yıllık ısınma ihtiyacı göz önüne alınarak ve her bir katta 4 kişilik çekirdek bir aile olduğu kabul edilerek iki farklı şekilde yapılmıştır.

Standartlar kapsamında yapılan teorik olarak ısıtma ihtiyacı yıllık bazda 25267 KWh olarak belirlenmiştir. Bina için belirlenen bu ısı enerjisi ihtiyacı farklı enerji kaynakları kullanılarak karşılanmaktadır. Bu kaynakların başında fosil yakıtlar ve elektrik enerjisi gelmektedir. Fosil yakıtların bir yakıcı aracılığıyla yakılması ve elektrik enerjisinin de iklimlendirme sistemlerinde kullanılması sonucu binanın ısı ihtiyacı karşılanmaktadır. Ancak bu kaynakların kullanılması çevreye belirli bir oranda zararlı gazların yayılmasına sebep verecektir. Yapılan tez çalışmasının bu kısmında binanın ısıtılması için kullanılan enerji kaynaklarına bağlı karbon ayak izi hesabı verilmiştir.

Binanın standartlar kapsamında yapılan ısıtma enerjisi ihtiyacı 25267 KWh enerjisi doğalgaz, kömür ve elektrik kaynaklarından sağlandığı takdirde hangi kaynaktan hangi oranda ihtiyaç duyulduğunu hesaplamak için bu kaynakların birimlerine bağlı enerji değerleri Çizelge 4.1'de detaylı olarak verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.1'de miktar sütununda binanın ısıtma enerjisi ihtiyacının bu kaynaklardan karşılanması için gerekli olan miktarları verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Örnek binanın ısıtılması için gerekli enerji kaynakları ve miktarları (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı)

Birimi	Cinsi	Isıl Değer	Enerji Değeri	Miktar
1 m <sup>3</sup>	Doğalgaz	8250 kcal	9,59 KWh	2634,72 m <sup>3</sup>
1 kg	Linyit kömürü	3000 kcal	3,5 KWh	7219,14 kg
1 KWh	Elektrik	860 kcal	1 KWh	25267 KWh

Çizelge 4.1 incelendiğinde 3 farklı kaynağın olduğu görülmektedir. Çünkü konutlarda en yaygın ve insan yaşamına en uygun bu kaynaklar kullanılmaktadır. Kaynakların ısıl değerleri incelendiğinde birimler bazında en yüksek ısıl değer ve enerji değerinin doğalgaza ait olduğu görülmektedir. Doğal olarak binanın enerji ihtiyacını sağlamak için ihtiyaç duyulan en az kaynak doğalgaz olmuştur. Bu çizelge

kapsamında elde edilen enerji miktarlarına bağlı olarak karbon ayak izi değerleri Çizelge 4.2’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.2’de farklı enerji kaynaklarına göre bina ihtiyacının sağlanması sonucu ortaya çıkan karbon ayak izi değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Enerji ihtiyacı için kullanılan yakıtların CO<sub>2</sub> miktarları

Birimi	Cinsi	Miktar	Ton CO <sub>2</sub>	Ton CO <sub>2</sub> e	Toplam ton CO <sub>2</sub>
1 m <sup>3</sup>	Doğalgaz	2634,72 m <sup>3</sup>	5,5	5,5	11
1 kg	Linyit kömürü	7219,14 kg	19	20,6	39,6
1 KWh	Elektrik	25267 KWh	13,2	-	13,2
Toplam					63,8

Çizelge 4.2 detaylı olarak incelendiğinde karbon ayak izinin direkt ve eşdeğer olarak hesaplandığı görülmektedir. Elde edilen CO<sub>2</sub> verileri ton cinsinden yıllık olarak verilmiştir. En yüksek karbon salınımı linyit kömüründe olmuştur. Direkt ve eşdeğer CO<sub>2</sub> olarak toplamda 39,6 tonluk bir salınım ortaya çıkmıştır. İkinci olarak en yüksek CO<sub>2</sub> salınımı 13,2 ton ile elektrik enerjisinde meydana gelmiştir. En düşük salınım ise 11 ton ile doğalgazda meydana gelmiştir. Toplam olarak yıllık bazda 63,8 ton bir salınım meydana gelmiştir.

#### 4.2. Dört Kişilik Bir Ailenin Yıllık Enerji Tüketimine Bağlı Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi hesabının ikinci bir kısmı olan evsel tüketime bağlı karbon ayak izi için dört kişilik bir ailenin tüketim değerleri göz önüne alınmıştır. Örnek bina çift daire üzerine 5 katlı bir bina olduğu için, binada 10 adet daire mevcuttur. Bu hesaplama yapılırken bütün dairelerde dört kişilik çekirdek ailelerin barındığı kabul edilmiştir. Dolayısıyla dört kişilik çekirdek bir ailenin tüketimleri binada 10 adet daire olduğu için 10 ile çarpılmıştır. Tüketimler yıllık bazda kabul edilmiştir.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Türkiye Cumhuriyeti Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) ve İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından yapılan araştırmalara göre bir ailenin ortalama aylık ve yıllık tüketim değerleri Çizelge 4.3.’de verilmiştir. Çizelge 4.3’de doğalgaz ısı ihtiyacı için seçilmiş, elektrik ise diğer kullanımları karşılamak için seçilmiştir. Diğer bir tüketim gideri olan su tüketimi de ek olarak tabloya ilave edilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Dört kişilik bir ailenin tüketim değerleri

Cinsi	Aylık Tüketim	Yıllık Tüketim	Bina Yıllık Tüketim
Doğalgaz	79,6 m <sup>3</sup>	956 m <sup>3</sup>	9560 m <sup>3</sup>
Elektrik	253,20 KWh	3038,4 KWh	30384 KWh
Su	18 m <sup>3</sup>	216 m <sup>3</sup>	2160 m <sup>3</sup>

Çizelge 4.3'deki tüketim değerleri göz önüne alınarak karbon ayak izi hesaplanmıştır. Çizelge 4.4 incelendiğinde en yüksek CO<sub>2</sub> salınımı 40 ton ile doğalgazda gerçekleşmiştir. İkinci olarak en yüksek CO<sub>2</sub> değeri 15,9 ton ile elektrik enerjisinde gerçekleşmiştir. Su tüketiminde ise direkt salınım olmadığı için CO<sub>2</sub>e'i hesaplanmış ve 1,529 ton olarak bulunmuştur. Toplam CO<sub>2</sub> salınımı 57,547 ton olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.4.** Dört kişilik bir ailenin tüketim değerlerine göre CO<sub>2</sub> miktarları

Cinsi	Bina Yıllık Tüketim	Ton CO <sub>2</sub>	Ton CO <sub>2</sub> e	Toplam ton CO <sub>2</sub>
Doğalgaz	9560 m <sup>3</sup>	19,999	20,037	40,037
Elektrik	30384 KWh	15,981	-	15,981
Su	2160 m <sup>3</sup>	-	1,529	1,529
			Toplam	57,547

Aileden kaynaklı karbon ayak izini hesaplarken 4 kişilik aile ve toplamda 10 daire olduğu kabul edilmiştir. Buradan hareketle binada 40 kişinin yaşadığı belirlenmiştir. Toplam karbon ayak izi kişi sayısına bölününce bireysel karbon ayak izini hesaplamış oluruz. Sonuç olarak bireysel karbon ayak izi 1,438 ton olarak hesaplanır.

## 5. SONUÇLAR

Bu araştırma yenilenebilir enerji kaynaklarının konutlarda karbon ayak izinin azaltılmasındaki rolünü incelemek amacıyla yapılmıştır. Türkiye şartlarında ortalama bir konut seçilerek, konutun enerji tüketimine bağlı karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Seçilen bina Antalya ilinde, çift daire ve 5 katlı betonarme bir yapıdadır. Seçilen bina balkonlar dahil 86,5 m<sup>2</sup> genişliğe sahiptir. Seçilen bina için detaylı olarak ısı kaybı hesabı yapılmıştır. Isı kaybı hesabı yapılırken binanın yapı bileşenlerinin cinsi ve bileşenin alan büyüklüğü detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca ısı kaybı hesabı her kat için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Isı kaybı hesabı sonucu iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı 999,08 W/K, havalandırma yolu ile gerçekleşen ısı kaybı 598,75 W/K hesaplanmıştır. Bu veriler doğrultusunda binanın toplam ısı kaybı 1597,83 W/K bulunmuştur. Binanın toplam ısı kaybı hesabı yapıldıktan sonra bina için gerekli ısı ihtiyacı hesabı yapılmıştır. Yıllık olarak hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı ısı kayıp ve kazançları göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada bina için hesaplanmış olan ısı ihtiyacı 25.267 kWh, bina için sınırlandırılan enerji ihtiyacı 90.886.871 kJ bulunmuştur. Sınırlandırılan enerji ihtiyacı, binanın ısı ihtiyacından büyük olduğu için yapılan ısı yalıtım projesinin TS 825 standardına uygun olduğu belirlenmiştir. Yapılan hesaplama sonucunda seçilen binanın normal enerjili bina olduğu ve enerji sınıfının C olduğu tespit edilmiştir.

Seçilen binanın karbon ayak izi hesabı yapılırken Defra'nın yayınlamış olduğu standartlar göz önüne alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Direkt CO<sub>2</sub> salınımı ve eşdeğer CO<sub>2</sub> salınımı birlikte hesaplanmıştır. Karbon ayak izi hesabı yapılırken her bir dairede 4 kişilik çekirdek bir aile olduğu kabul edilmiş ve bu ailelerin tüketimleri göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmıştır. İhtiyaç duyulan enerji miktarı farklı yakıt kaynakları kullanılarak karşılanmıştır. Bu sayede yakıtların değişimine göre karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda yıllık ihtiyaç duyulan ısınma enerjisi ihtiyacı kömür, doğalgaz ve elektrikten ayrı ayrı karşılandığı düşünülmüştür. Isınma enerjisi doğalgaz ile sağlanırsa 2634,72 m<sup>3</sup>'lük bir doğalgaz ihtiyacının gerektiği ve bu kullanım sonucunda toplamda 11 ton CO<sub>2</sub> salınımının gerçekleştiği, ısınma enerjisi linyit kömürü ile sağlanırsa 7219,14 kg'lık bir linyit kömür ihtiyacının gerektiği ve bu kullanım sonucunda toplamda 36,6 ton CO<sub>21</sub> salınımının gerçekleştiği, ısınma enerjisi elektrik ile sağlanırsa 25267 kWh'lik elektrik ihtiyacının gerektiği ve bu kullanım sonucunda toplamda 13,2 ton CO<sub>2</sub> salınımının gerçekleştiği bulunmuştur.

Dört kişilik bir ailenin yıllık enerji tüketimine bağlı karbon ayak izi hesaplanırken Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Türkiye Cumhuriyeti Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) ve İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından yapılan araştırmalara göre bir ailenin ortalama aylık ve yıllık tüketim değerleri dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Alınan verilere göre dört kişilik bir ailenin yıllık doğalgaz tüketiminin 956 m<sup>3</sup> olduğu ve bu kullanım sonucunda toplam 4,037 ton CO<sub>2</sub> salınımının gerçekleştiği, yıllık elektrik tüketiminin 3038,4 kWh olduğu ve

bu kullanım sonucunda 1,598 ton CO<sub>2</sub> salınımının gerçekleştiği, yıllık su tüketiminin 216 m<sup>3</sup> olduğu ve bu kullanım sonucunda 0,152 ton CO<sub>2</sub> salınımının gerçekleştiği bulunmuştur.

Fotovoltaik panellerle elektrik üretimi sağlanması amaçlanmıştır. Sistem için 200 Wp'lik fotovoltaik panel seçilerek gerekli panel sayısı hesaplanmıştır. Tüm binanın yıllık elektrik enerjisi tüketimi 30384 kWh saat bulunmuştur. Günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyacı 83,2 kWh olarak hesaplanmıştır. Panellerden kaynaklanan kayıplar dikkate alınarak elektrik ihtiyacı %30 artırılarak hesap yapılmıştır. Bu durumda günlük elektrik enerjisi ihtiyacı 108,16 kWh olarak belirlenmiştir. Buradan ihtiyaç duyulan panel sayısının 36,9 yani 37 adet olduğu bulunmuştur. 200 Wp'lik bir panelin alanı yaklaşık olarak 1,5 m<sup>2</sup> kabul edilmiştir. 37 adet tespit edilen panel için yaklaşık olarak 55,5 m<sup>2</sup>'lik bir alana ihtiyaç olduğu hesaplanmıştır.

Ayrıca bu çalışmada sulu termal sistemleri ile sıcak su üretiminin sağlanması amaçlanmıştır. Bu yüzden bu çalışmada binanın sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla termal sistemlerin hesabı yapılmıştır. Her katta 4 kişilik bir ailenin oturduğu ve seçilen binanın 10 katlı olmasından dolayı gerekli günlük sıcak su miktarı 2400 litre bulunmuştur. Gerekli ısı miktarı 347 Mj olarak belirlenmiştir. Hesaplama yapılırken kollektör çift cam örtülü yutucu yüzeyli kollektör seçilmiş olup verimi yıllık olarak 0,45 alınmıştır ve HT değeri en düşük olan Aralık ayına göre alınmıştır. Bu değerler kapsamında yapılan hesaplamalar sonucu 93,5 m<sup>2</sup>'lik bir alana ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Bir kollektörün alanı 1,6 m<sup>2</sup> olduğuna göre toplam kollektör sayısı 59 adet olduğu bulunmuştur.

Yapılan çalışmada fotovoltaik panellerle elektrik üretimi ve sulu termal sistemler ile sıcak su üretiminin sağlanması durumunda karbon ayak izinin azaldığı ve enerji verimliliğinin sağlandığı belirlenmiştir. Bu çalışma konutlarda enerji tüketimine bağlı karbon ayak izinin belirlenmesinde yapılacak yeni çalışmalar ışık tutacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

- Elbasan, S. 2015. Karbon Ayak İzini Dikkate Alan Eş Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir, 109s.
- Ertekin, P. 2012. Sürdürülebilir Kaynak Kullanımına Yönelik Çevre Eğitimi Uygulamalarının İlköğretim Öğrencilerinin Karbon Ayak İzi Konusunda Bilinçlenmeleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, 135s.
- Erdoğan, M. 2015. Çevresel Tesislerden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 127s.
- Gültepe Mataracı, G. 2016. Yeşil Liman Yaklaşımı Ve Liman İşletmelerinde Sürdürülebilirlik, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 111s.
- Hertwich, E.G. and Peters, G.P. 2009. Carbon Footprint Of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis, *Environmental Science And Technology*, 43 (1): 6414–6420
- Jones, C.M. and Kammen, D.M. 2011. Quantifying Carbon Footprint Reduction Opportunities For U.S. Households And Communities, *Environmental Science And Technology*, 45 (9): 4088-4095.
- WWF (2012a), Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu, WWF Rapor TR 2012, ([http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/turkiyenin\\_ekolojik\\_ayak\\_izi\\_raporu.pdf](http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/turkiyenin_ekolojik_ayak_izi_raporu.pdf))
- Karaçor, E. ve Yerli, Ö. 2010. Peyzaj Tasarımında Kullanılan Yapısal Elemanların Karbon Ayak İzlerinin Değerlendirilmesi, Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Düzce Üniversitesi, Düzce.
- Koca, A. 2017. Yeşil Çatı Sistemlerinin Sürdürülebilir Kent Yaşamına Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, 120s.
- Koçer, A., Yaka, İ. F., ve Güngör, A. 2016. Bir Konutun Elektrik İhtiyacının Yazılım Desteği İle Tespit Edilmesi, Akademik Bilişim Sempozyumu
- Keskin, S. ve Erdil, M. 2017. Bir Tekstil Fabrikasının Kumaş Üretiminde Enerji Ve Karbon Ayak İzlerinin Belirlenmesi, Ulusal Hava Kirliliği Ve Kontrolü Sempozyumu, Ss. 1-11, 1-3 Kasım, Marmara Üniversitesi, İstanbul.



- Kınacı, M. 2015. Bep-Tr, Passivhaus Ve Energystar Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 174s.
- Kitzes, J. and Wackernagel, M. 2009. Answers to Common Questions in Ecological Footprint Accounting, *Ecological Indicators*, 9 (4): 812-817.
- Küçüker, H. 2017. Sürdürülebilir Çevre Açısından Bir Çevresel Maliyet unsuru Olan Karbon Maliyetlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Bartın, 135s
- Mattila, T., Kujanpaa, M., Dahlbo, H., Soukka, R., and Myllymaa, T. 2011. Uncertainty And Sensitivity in The Carbon Footprint Of Shopping Bags, *Journal Of Industrial Ecology*, 15 (2): 217-227
- Özlem, B. 2013. Seçilen Bir Kağıt Fabrikasında Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 149s.
- Özsoy, C. 2015. Düşük Karbon Ekonomisi Ve Türkiye'nin Karbon Ayak İzi, *Hak-İş Uluslararası Emek Ve Toplum Dergisi*, 4 (9): 198-215.
- Pehlivan, Y. 2016. Liman İşletmelerinde Atık Yönetimi Ve Karbon Ayak İzinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 118s.
- Reeves, H. ve Lenoir, F. 2006. Yeryüzünün Acısı, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, 224s.
- Sunturlu, Ö. 2017. Turizm Sektöründe Faaliyet Gösteren Teknelerin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Fethiye Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, 84s
- Toröz, A. 2015. Gemi Kaynaklı Atıkları Alan Bir Atık Kabul Tesisinde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 135s.
- Ünaldı, G. 2016. Yeşil Pazarlamada Karbon Ayak İzi Kavramının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Çorum, 175s.
- Wiedmann, T. and Minx, J. 2008. A Definition Of Carbon Footprint. Hauppauge Ny: Nova Science Publishers.
- Wwf. 2009. Japan EcologicalFootprint 2009, [Http://Www.Wwf.Or.Jp/Activities/Lib/Lpr/Wwf\\_Efj\\_2009e.Pdf](http://Www.Wwf.Or.Jp/Activities/Lib/Lpr/Wwf_Efj_2009e.Pdf)

Wwf. 2010. Yaşayan Gezegen Raporu 2010,  
[Http://Www.Wwf.Org.Tr/Pdf/Yasayangezegen Raporu2010.Pdf](http://www.wwf.org.tr/pdf/yasayangezegen_raporu2010.pdf).

Yaka, İ. Vd. 2015. Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu  
Karbon Ayak İzinin Tespiti, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* ss. 37-45,  
Akdeniz Üniversitesi, Antalya

## ÖZGEÇMİŞ

**Engin DEMİRCİ**  
**engindemirci16@gmail.com**



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2014-2018	Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
2008-2012	Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Niğde

### ESERLER:

#### **Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiri**

1- Güngör A., Yaka İ.F., Demirci E., (2014) Güneş Enerjisi İle Çalışan Organik Rankine Çevrimi", II. Uluslararası Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, Niğde, Türkiye,

#### **Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiri**

1- Güngör A., Koçer A., Demirci E.,(2013) Güneş Enerjisinin Kullanımında Optimum Tilt Açısının Önemi, 6. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin, Türkiye