

ARAŞTIRMA / RESEARCH ARTICLE

# Endüstri Yapılarında Aydınlatma Enerjisinin Karbon Ayak İzine Etkisinin Hesaplanması: Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Örneği

## Calculating the Effect of Lighting Energy on Carbon Footprint in Industrial Buildings: The case of Kayseri Industrial Zone

Ahmet Hasdal<sup>1</sup>  Özlem Sümengen<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı, Kayseri,Türkiye

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Doktor Öğretim Üyesi, Kayseri, Türkiye, osumengen@erciyes.edu.tr

### Özet

Ülkemizde gün geçtikçe artan sera gazı salımı ve karbon ayak izi miktarının %11,2'si Endüstri Sektörü tarafından kullanılmakta ve bunun haricindeki %72 lik enerji sektörünün oluşturduğu karbon salımının büyük bölümü endüstri sektörüne aittir[17]. Büyük bölümünün üretimden kaynaklı olmasına karşın güçlü aydınlatma armatürlerinin kullanılması, aydınlatmadan dolayı karbon salımını oranını incelememize neden olmuştur. Bu istatistiklerden yola çıkarak Kayseri ili Organize Sanayi Bölgesinde bulunan endüstri yapılarının aydınlatma enerjileri incelenmiş, bunlar Tier ve Defra-Annex gibi hesaplama yöntemleri ile yıllık CO2 Salım miktarlarına dönüştürülmüştür. Sonuçlar bize göstermiştir ki, 3 farklı organize sanayi bölgesine sahip olan Kayseri'nin en geniş ölçekli organize sanayi bölgesinin yıllık karbon salım miktarı 227.256,54 kgCO2/yıl olmaktadır. Yüksek basınçlı aydınlatma armatürlerinin sıklıkla kullanılması ve eskimiş olan armatürlerin fazla enerji kullanmalarından kaynaklı bu miktarın, tüm firmaların LED aydınlatma sistemlerine geçiş yapmaları halinde yaklaşık %48 azalıyor olması hesaplamalar sonucu ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon Ayak İzi, Sera Gazı, Karbon Salımı, Aydınlatma Enerjisi, LED Aydınlatma Teknolojisi, Endüstriyel Aydınlatma.

*Not: Makale; Dr. Öğretim Üyesi Özlem Sümengen danışmanlığında tez yürüten Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Ahmet Hasdal ile birlikte yürüttükleri çalışmalarından oluşmaktadır.*

### Abstract

In our country, 11.2% of the greenhouse gas emission and carbon footprint amount increasing day by day is used by the Industry Sector, and most of the carbon emissions created by the energy sector, which is 72%, belong to the industry sector[17]. Although most of it originates from production, the use of powerful lighting fixtures has led us to examine the carbon emission rate due to lighting. Based on these statistics, the lighting energies of industrial buildings in the Organized Industrial Zone of Kayseri province were examined, and these were converted into annual CO2 Emission amounts with calculation methods such as Tier and Defra-Annex. The results have shown us that the annual carbon emission amount of the largest scale organized industrial zone of Kayseri, which has 3 different organized industrial zones, is 227,256.54 kgCO2/year. Calculations show that this amount, due to the frequent use of high-pressure lighting fixtures and the excessive use of energy by obsolete fixtures, will decrease by approximately 48% if all companies switch to LED systems.

**Keywords:** Carbon Footprint, Greenhouse Gas, Carbon Emission, Lighting Energy, LED Lighting Technology, Industrial Lighting.

**Bu makeden şu şekilde alıntı yapınız / Cite this article as:** Hasdal A, Sümengen Ö. Endüstri Yapılarında Aydınlatma Enerjisinin Karbon Ayak İzine Etkisinin Hesaplanması: Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Örneği. Climatehealth. 2021;1(3):111-121

### Sorumlu Yazar / Corresponding Author:

Erciyes Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Kayseri,Türkiye  
E-mail: osumengen@erciyes.edu.tr



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

## 1. GİRİŞ

İçerisinde bulundurduğu %20,94 Oksijen oranı ile hava, Dünyada canlıların yaşayabilmesi için gerekli olan ilk ögedir. Hava kalitesinin yüksek olması canlıların sağlığını etkileyen bir faktördür. Ancak günümüzde modern yaşam ve gelişmiş teknolojinin etkisi ile daha çok enerji ihtiyacı ve doğal kaynak tüketimi artışı sebebi ile hava yoğun gaz ve toz kalıntıları ile doldurulmaktadır. Bu olayların sonucu olarak da hava kirliliği meydana gelmektedir[1]. Günümüzde modern yaşam ve gelişmiş teknolojinin etkisi ile daha çok enerji ihtiyacı ve doğal kaynak tüketimi artışı sebebi ile hava yoğun gaz ve toz kalıntıları ile doldurulmaktadır. Bu olayların sonucu olarak da hava kirliliği meydana gelmektedir. Hava kirliliği; ekolojik dengeyi bozan, insan sağlığını ve canlı hayatını olumsuz bir şekilde etkileyen insanların çeşitli tüketim aktiviteleri ve ekonomik faaliyetler sonucu, yapay yollarla havanın bileşimindeki maddelerin normalin üzerinde yoğunluğa ve miktara ulaşması ile havanın doğal bileşiminin bozulmasıdır[1].

Hava kirliliğini oluşturan başlıca etken fosil yakıtların kullanımıdır. Fosil yakıtların kullanımı sonucu artan sera gazı oranı atmosfer dengesini bozmaktadır. Bu durum Sera Etkisi olarak adlandırılır. Kızılötesi ışınları soğuran tüm gazlar sera etkisine neden olan Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) Metan (CH<sub>4</sub>), Diazot monoksit (N<sub>2</sub>O), Hidroflorokarbonlar (HFCs), Perflorokarbonlar (PFCs), Kükürt hekzaflorür (SF<sub>6</sub>) gibi gazlar sera gazları olarak adlandırılır. Sera Gazları oranının artması atmosferin ısı tutma kapasitesinin artmasına, bu da dünyanın yüzey sıcaklığının artıp günümüz sorunlarından biri olan Küresel Isınmanın meydana gelmesine neden olmaktadır. Küresel Isınma mevsimleri ve iklimleri etkileyerek dünya üzerindeki ekolojik dengeyi bozan bir durumdur[2]. 2017 yılında yapılan bir araştırma sonucu göstermektedir ki Türkiye'nin Ekonomik İşbirliği Ve Kalkınma Örgütü (OECD) ülkeleri arasında sera gazı üretim oranı % 3,4 tür[3].

Küresel iklim değişikliği ile mücadele konusundaki en önemli yasal düzenlemeler, BMİDÇS ve Kyoto Protokolü'dür. BMİDÇS'nin amacı, insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının iklim sistemi üzerindeki etkisini önlemeye çalışmaktır. 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'nün amacı, BMİDÇS'nin Ek-1'inde yer alan gelişmiş ülkelerin, zamana bağlı emisyon azaltım taahhütlerini somutlaştırmaktır. 1.

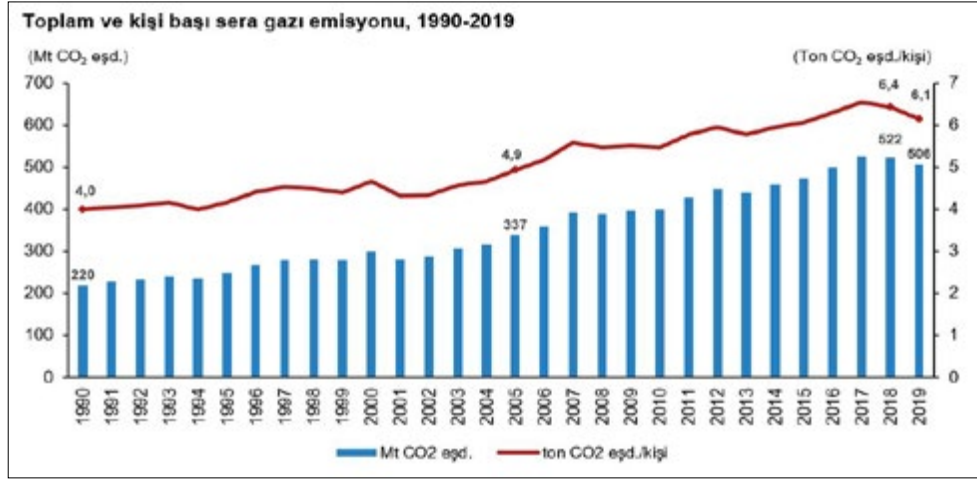
Dönemi sona eren (2008-2012) Kyoto Protokolünün amacı "farklı oranlarda sera gazı azaltımı" görüşü ile sera gazları salımlarını 1990 yılı düzeylerinden % 5 azaltmaktı. II. Dönem(2012-2020) için hedef ise sera gazı salınımının 1990 yılına göre en az %18 azaltmasıdır[4]. Ülkemizde bu protokolü imzalamış olup, sera gazlarının azaltılması ve temiz teknolojilere geçmek için çalışmalarına devam etmektedir. Bu kapsamda Türkiye'nin sera gazı envanterinin hazırlanması için 2012 yılında Resmi Gazete'de "Sera Gazı Emisyonlarının Takibi" hakkında yönetmelik yayınlanmış 2014 yılında bu yönetmelik güncellenmiş ve bu yönetmelik kapsamında "Sera Gazı İzleme Ve Raporlama" tebliği yürürlüğe girmiştir. Bu tebliğ kapsamında tebliğ Ek-1'inde yer alan tesisler faaliyetlerinden kaynaklı sera gazı emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve doğrulanması amacı ile envanterlerini oluşturup Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bildirmekle yükümlü olmaktadır[3].

Sera gazlarından olan karbonun, canlıların yaşamı boyunca ihtiyaçlarını karşılamak üzere tükettiği ya da satın aldığı; bir ürünün ise üretiminden, kullanımına ve bertarafına kadar tükettiği enerjinin üretimi ve kullanımı sırasında meydana gelen emisyonların atmosfere yayıldığı miktarına "Karbon Ayak İzi" denir[1]. Küresel ısınmaya etki faktörü EPA tanımlamalarına göre gazların atmosferde ısı tutma kapasitesi ve atmosferde bulunma sürelerinin CO<sub>2</sub> ile kıyaslanarak etkilerinin belirlenmesi katsayısıdır. Her bir gaz CO<sub>2</sub>'nin ısı tutma etkisi ve atmosferde bulunma süresi oranına göre değerlendirilir. CO<sub>2</sub>'nin KIP değeri 1 olarak kabul edilir. Örneğin CH<sub>4</sub>'ün atmosferde bulunma süresi 10 yıl kadar olup CO<sub>2</sub>'den düşüktür. Ancak ısı tutma kapasitesi çok daha yüksek miktarda olduğu için KIP değeri CO<sub>2</sub>'nin 21 katıdır. Bu şekilde gazların atmosferde kalma süreleri ve ısı tutma kapasitelerine göre CO<sub>2</sub> gazı baz alınarak hesaplama yapıldığı için tüm gazların atmosfere etkisi CO<sub>2</sub> gazı üzerinden değerlendirilmiş olup sembolü de CO<sub>2</sub>e (karbondioksit eşdeğeri) olmuştur. Karbon Ayak İzi belirlenmiş bazı standartlara göre, günümüzde bilgisayar simülasyon programları ile de hesaplanabilmektedir. Karbon Ayak İzi ürünler ve kurumlar için ayrı ayrı standartlarda hesaplanır. Ürünler için kullanılan ISO 14067 (International Organization for Standardization) uluslararası standartlar teşkilatı tarafından 2013 yılında yayınlanmış. 2018 yılında ise revize edilmiştir. Bir ürünün karbon ayak izinin miktarının ölçülmesi ve raporlanması için prensipleri, gereklilikleri ve yönergeleri, yaşam döngüsü içinde değerlendirme imkânı sunar. Kurumlar

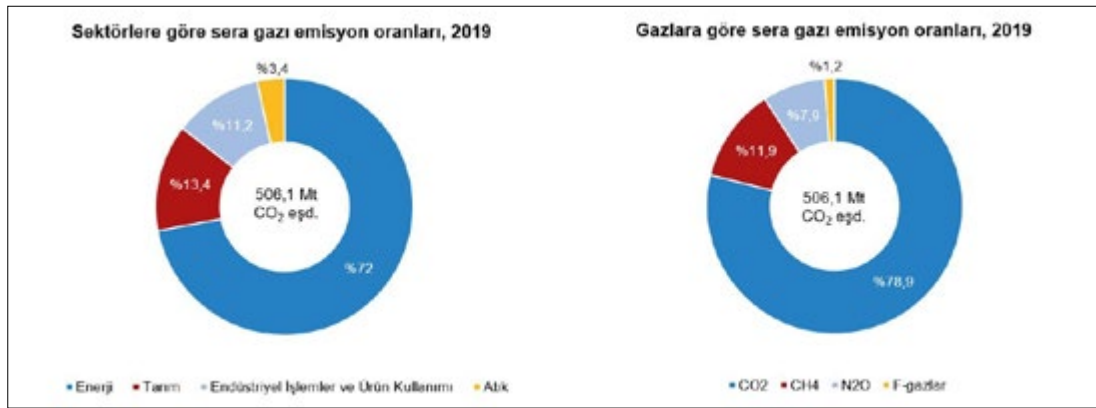
içinse Iso 14064 standartları kullanılmakta olup 2007 yılında yayınlanmış 3 aşamalı(uzaklaştırmanın hesaplanması-Uzaklaştırmanın iyileştirilmesi-Bilgilerin Doğrulanıp Onaylanması) bir standarttır.

TÜİK tarafından 1990-2019 yılları arasında toplumun ve farklı sektörlerin sera gazı emisyon seviyeleri hesaplanmıştır. Ayrıca sera gazının içinde bulunan gazların miktarları da ölçülmüş ve Şekil-1 ile Şekil-2'de grafikler sunulmuştur.

**Şek. 1. TÜİK, Toplam ve Kişi Başı Sera Gazı Emisyonu Miktarı 1990-2019 [17]**



**Şek. 2. TÜİK, Sera Gazı Emisyon Oranları [17]**



Uluslararası Aydınlatma Komisyonu(CIE) aydınlatmanın tanımını; “nesnelerin ve çevrenin yeteri kadar görülebilmesini sağlamak için ışık uygulamak” olarak tanımlamaktadır [5]. Bu tanımdan yola çıkarak Yıldırım ve Erikli (2021) “Aydınlatma, belirli nesne ve yüzeyler üzerine, görsel algılamaya en elverişli biçimde ışık uygulamaktır.” şeklinde bir tanımlama yapmaktadır [6]. Aydınlatma doğal aydınlatma olarak güneş enerjisini kullanarak maliyetsiz ve doğaya zarar vermeden yapılabileceği gibi, doğal aydınlatmanın istenmediği veya yetersiz kaldığı yerlerde/durumlarda da yapay aydınlatma sistemleri kullanılarak yapılmaktadır. Yapay aydınlatma sistemleri doğal aydınlatmanın aksine çoğunlukla fosil kaynakların kullanılmasıyla elde edilen elektrik enerjisi sayesinde çalışmaktadır. Günümüzde artan çevre bilinci sürdürülebilir/yenilenebilir kaynaklara yönelimi artırır da tükenir kaynakların kullanımı yoğunluktadır. Çin’de 2010 yılında yapılan bir çalışmaya göre aydınlatma için kullanılan enerji toplam enerjinin %11’lik kısmını oluşturmaktadır [7]. Bu durum maliyetin yanı sıra doğaya verilen zarar açısından da aydınlatma enerjisinin önemini ortaya koymaktadır.

Aydınlatma için harcanan enerji veya diğer her türlü tükenir kaynaklardan karşılanan enerjinin doğaya vermiş olduğu zarar bilim insanlarının “Karbon Ayak İzi” kavramını ortaya koymaları ve gerekli çalışmaları yapmalarını sağlamıştır. Karbon Ayak İzi, insan faaliyetleri sonucu oluşturulan bir ürünün yaşam evresi boyunca doğrudan ya da dolaylı bir şekilde biriktirdiği karbondioksit emisyonlarının toplam miktarıdır [8]. Birincil ve İkincil Ayak İzi olmak üzere 2 kategorili etmenlere sahiptir. Birincil ayak izi, fosil yakıtlarının kullanılması sonucu ortaya çıkan salınımın doğrudan gerçekleştiği faktörlerken, ikincil ayak izi ise kullanılan ürünlerin yaşam döngüleri sonucu (üretimden kullanım ömrünü tamamlayana kadar) ortaya çıkan dolaylı salınımlarının miktarıdır [9]. Enerji verimliliği için yapılan çalışmalar Karbon Ayak İzini azaltmayı da amaçlar. 1997 yılında imzalanan ve 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolünde CO2 salınım standartları belirlenmiştir ve imza atan her ülke bu standartlara hedef edinerek kendi ulusal/yöresel çalışmalarını yapmaktadır. Tam olarak bu konu ile ilişkilendirebileceğimiz bu çalışmamız Aydınlatma enerjisinin karbon ayak izi üzerindeki etkilerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Örnek çalışma alanı olarak Kayseri Organize Sanayi Bölgesi seçilmiş ve burada bulunan endüstri yapılarının aydınlatma enerjilerinin karbon ayak izleri araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Karbon ayak izi denildiği zaman akla fosil yakıt kullanımının ve karbon salınımının gelmesi, öncelikli olarak endüstri yapılarının incelenmesini gerektirmektedir. Bunun için de Kayseri İlinde bulunan 3 Organize Sanayi ve 1 Serbest Bölge Yerleşkesi içinden en büyük alana ve kullanıcıya sahip olan Kayseri Organize Sanayi Bölgesi seçilmiştir. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Kayseri ili Melikgazi ilçesi sınırları içinde bulunan yaklaşık 22 milyon m<sup>2</sup> alanda ve 1220 firmanın bulunduğu bir endüstri yerleşkesidir [10]. Bölgenin uydu görüntüsü ve kapladığı alan bilgisi Şekil-3’de gösterilmektedir. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi, 1976 yılında kurulmuş olup, 22 milyon m<sup>2</sup> alan üzerinde, 1220 fabrikadaki 70 bin çalışanı, takribi 25 bin araç giriş-çıkışı ile ülkemizde bulunan 300 civarındaki OSB’ler arasında yatırım, üretim, istihdam ve ihracatı ile ilk 10 sırada yer alması örneklem olarak tercih sebebidir. Bölgede faaliyet gösteren firmalardan 122 tanesi Ambalaj-Plastik sektöründe, 18 tanesi Boya-Kimya-Temizlik Ürünleri sektöründe, 46 tanesi Elektrik-Elektronik Sektöründe,

24 tanesi Ev Eşyaları-Elektrikli Ev aletleri sektöründe, 53 tanesi Gıda sektöründe, 122 tanesi İnşaat Yapı Malzemesi sektöründe, 34 tanesi Kâğıt-Baskı ve Reklam sektöründe, 51 tanesi Makine sektöründe, 303 tanesi metal ürünler sektöründe, 279 tanesi mobilya-ahşap ürünler sektöründe, 15 tanesi otomotiv yan sanayi sektöründe ve 153 tanesi tekstil sektöründe faaliyet göstermektedir[10]. Karbon Ayak İzi hesabı yapılırken üretilen ürünler için harcanan enerjiden, personelin evi ile iş yeri arasında harcamış olduğu yakıtı kadar geniş kapsamlı çalışılması gerekir. Ancak bu çalışma daha özel çerçevede olacağından dolayı, yalnızca bölgedeki endüstri yapılarının aydınlatma için harcamış oldukları enerjinin karbon salım miktarı incelenmiştir. Çalışmada Bölgedeki firmaları; aydınlatma sistemlerine göre 4 sınıfta gruplandırılmıştır. Bu dört grup Enkandesan lambalar (Akkor Telli), Floresan Lambalar, Yüksek Basıncılı Lambalar (HG ve HPS) ve LED Lambalar olarak sıralanabilir. Verilerin toplanabilmesi için görüşme sağlanabilen firma yetkilileri ile kısa bir anket çalışması ve fotoğraf ile belgeleme çalışması yapılmıştır. Yapıların elektrik projelerinden alınan aydınlatma verileri ve mimari planlar, simülasyon programı olan ClimateStudio programına işlenerek hesaplamaların bilgisayar ortamında yapılması sağlanmıştır. Her grup için örnek olarak seçilen bir yapının bilgisayar ortamında hesaplanan karbon ayak izi değerleri o gruptaki yapı sayısı ile çarpılarak, o grubun toplam salınım verilerine ulaşılmıştır. Aynı işlem diğer gruplara da uygulanmış ve tamamı için bu yöntemle sonuç değere ulaşılmıştır.

Diğer bir adım olarak; uluslararası çalışmalar referans alınarak, enerji verimli olmayan armatürlerin; LED armatürler ile revize edildiğinde ortaya çıkan karbon salınımına bağlı olarak, elde edilen enerji tasarrufu gözlemlenmiştir.

### Şek. 3. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Uydu Görünümü [11]



### 3. ENDÜSTRİ YAPILARININ AYDINLATILMASINDA GENEL İLKELER

Endüstri yapılarında; yüksek tavanlı ve büyük ölçekteki derin mekânların içine günışığını düzgün şekilde dağıtmak, cephe ve çatıya eklenen bazı açıklıklarla sağlanabilir. Yüksek pencereler ve cephelerde tasarlanan açıklıklar, çatı ışıklıkları, sıra kemerler ile arklar endüstri yapılarına doğal ışığı yaymada kullanılan en bilinen strüktürel elemanlardır[12].

Endüstri yapılarının genel olarak fonksiyonu, kullanım koşulları, mekânların kullanım süreleri göz önüne alındığında çoğunlukla yüksek ve geniş pencerelere ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Endüstri yapılarında ve özellikle fabrikalarda çalışanlar, uzun saatler boyu iç mekânı kullanmakta, dolayısıyla dış çevreyle görsel bir bağlantı kurma ihtiyacı hissetmektedirler. Çünkü günışığı, psikolojik ve fizyolojik açılardan insan bünyesine uyarlık göstermektedir.

Günışığının, yıl ve gün boyunca Gök durumu ile ilgili olarak çok değişken oluşu dolayısıyla pencerelerin yetersiz kaldığı durumlar olabilmektedir ve bununla beraber, pencerelerden giren günışığının iç mekâna derinlemesine yayılma etkisi sınırlıdır. Hacmin ortalarına doğru ortam loşlaşabilir ve istenilen aydınlık düzeyinin altına inilebilir. Bu özellikle, çok katlı tesislerde ve derinliği fazla olan endüstriyel yapılarda karşılaşılabilecek muhtemel bir sorundur. Böyle durumlarda, tasarlanabilecek farklı çatı ışıklıklarıyla, tepeden de aydınlatma sağlanarak çok yönlü bir aydınlatma biçimi sağlanabilmektedir (Şekil 4).

**Şek. 4. Organize Sanayi Bölgesi yapılarından birine ait çatı ışıklığı örneği**



Doğal aydınlatmanın yanı sıra endüstri yapılarında gerek vardiyalı çalışma sistemi kullanıldığı zaman gerekse doğal aydınlatmanın yeterli olmadığı zaman dilimlerinde yapay aydınlatma ile desteklenmesi gerekmektedir. Yapay aydınlatmada kullanılacak ışık kaynaklarının etkinlik faktörleri yüksek ve ömürleri uzun olmalıdır. Kirlenmenin fazla olduğu geniş hacimli üretim hollerinde tavan ve duvarlardan yansıyan ışığın katkısı düşük olduğu için armatürler direkt ışık dağılımlı olmalıdır. Armatürler ayrıca, ortamda olası toz, kir, nem ve patlayıcı gazlara karşı korunmalı, elle dokunulabilecek mesafelerde olanlar ise tamamen izole edilmelidir. Rengin önemli olduğu üretimlerde sürekli renk değiştiren gündüz ışığı kullanılmamalı, floresan ışık kullanılmalıdır.

İncelenen yapılarda dört farklı aydınlatma armatürünün kullanıldığı görülmektedir. Bunlar Akkor Lambalar, Floresan Lambalar, Yüksek Basıncılı Lambalar ve LED Lambalardır. Bu lambalar birbirlerinden, fiziksel boyut elektriksel karakteristik, güç yoğunluğu ve işlem performansı olarak ayrılırlar. Bir kısmı diğerlerine göre kesin uygulamalara daha çok uyarlar bununla birlikte iki ya da daha çok kaynak, belirli bir aydınlatma gereksinimini yerine getirmede yeterli olabilirler. Her lamba sınıfının enerji etkinlik durumuna bağlı olarak harcamış olduğu birim enerji miktarı farklıdır ve bu da karbon salınımı miktarı da değişmesine neden olmaktadır.

### 4. KARBON AYAK İZİNİN HESAPLANMASI

#### 4.1. Mevcut Araştırmalar

Karbon ayak izinin azaltılması için kurumlar bünyesindeki mevcut durum belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla çeşitli üniversitelerde, resmi kurum, kuruluş ve belediyelerde, şirketlerde veya fabrikalarda karbon ayak izinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yürütülmüştür (Tablo 1).

**Tablo 1. Karbon Ayak İzi Çalışmaları Özet Tablosu(14)**

Yapılan Çalışmalar	Yapılan Yer	Değer
Conway ve diğ.(2007)	Toronto Üniversitesi	8744 hektar/yıl
Larsen ve diğ. (2011)	Norveç Teknoloji ve Bilim Üniversitesi	4,6 ton CO2e /öğrenci
Turanlı (2015)	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	50,143 kiloton CO2(%10 olasılıkla) 56,037 kiloton CO2(%90 olasılıkla)
Özlem (2013)	Seçilen Bir Kâğıt Fabrikası	98,948 kiloton CO2
Atabey (2013)	Diyarbakır İli	92 kiloton CO2
Rippon (2014)	Cape Town Üniversitesi	85,360 kiloton CO2
Aroonsrimorakot ve diğ. (2013)	Mahidol Üniversitesi	1091,85 ton CO2e
Pendik Belediyesi Strateji Müdürlüğü (2014)	Pendik İlçesi	2013 yılı için;4028,25 kiloton CO2 2014 yılı için;7092,92 kiloton CO2
Yaka ve diğ. ( 2015)	Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu	98307 kg CO2/yıl
Vasquez ve diğ. (2015)	Talca Üniversitesi	1 ton CO2e/öğrenci

#### 4.2. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Aydınlatma Enerjisinin Oluşturduğu Karbon Ayak İzi Salım Miktarını Hesaplama

Bu çalışmada Kayseri Organize Sanayisinde bulunan endüstri yapılarında kullanılan aydınlatma için harcanan enerjinin neden olduğu emisyonlar hesaplanmıştır. Oluşan karbon ayak izi miktarını hesaplamak için Tier adı altında IPCC tarafından yayımlanan metodolojiler kullanılmaktadır. Hesaplamalarda Tier yöntemini belirleyen yararlanılan faaliyet ve teknoloji verileridir.

Tier metodolojileri 3'e ayrılır. Tier 1 yöntemi az veri içeren basit bir yöntemdir. CO2 hesabında yaygın olarak kullanılmaktadır. Öncelikle karbon ayak izi hesabı yapılacak sektörün enerji tüketim miktarı belirlenir. Tüketilen enerjinin içeriği hesaplanır. Enerji türüne göre uygun emisyon faktörü seçilerek kullanılan enerjinin karbon içeriği hesaplanır. Enerji kullanımı sırasında oksitlenen karbon miktarı üzerinden işlem yapılmasına dikkat edilir. Son olarak moleküler ağırlık yardımıyla bulunan karbon miktarı CO2 cinsine çevrilerek karbon ayak izi hesabı tamamlanır (15).

Bu çalışmada, aydınlatma enerjisinden kaynaklı karbon ayak izinin belirlenmesinde öncelikle ClimateStudio simülasyon programı ile elde edilen veriler ışığında Tier 1 yöntemi kullanılmıştır. Hesaplama yönteminde; enerji tüketim miktarları ton cinsinden miktarları, enerji değerlerinin belirlenmesi için enerji ile ilgili dönüşüm faktörü ile çarpılır.

#### 5. BULGULAR

Çalışmanın temel amacı Kayseri Organize Sanayi Bölgesindeki endüstri yapılarının aydınlatma enerjisi için harcanan karbon ayak izinin ortaya konması ve enerji verimli armatürler ile revize edilmesi ile oluşan azaltım miktarlarının belirlenmesidir.

Buna göre öncelikli olarak yapılarda kullanılan yapma aydınlatma armatürleri tespit edilmiştir.. Endüstri yapılarında kullanılan aydınlatma armatürleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Enkandesan lambalar (Akkor Telli)
- Floresan Lambalar,
- Yüksek Basıncılı Civa Buharlı Lambalar(HG),
- Yüksek Basıncılı Sodyum Buharlı Lambalar(HPS),
- LED Lambalar olarak sıralanabilir.

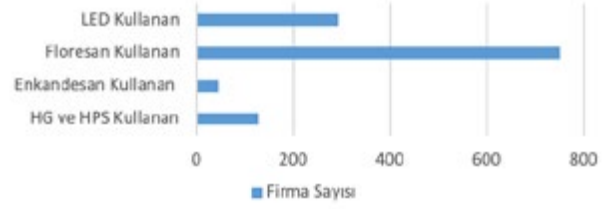
Hangi yapı grubunda hangi aydınlatma armatürünün kullanıldığına istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği belirlenmiş ve bu farklılıklar nedenleri ile birlikte incelenmiştir. Buna göre mekan kullanımı ve kişisel kullanımlar başlığı altında yapılan araştırmalarda istatistiksel olarak belirlenen anlamlı farklılıklar aşağıda özetlenmiştir:

Mekân kullanımı açısından;

- Belirli bir tarihten önce yapılmış olan yapılarda HG ve HPS lambalar sıklıkla kullanılmaktadır.
- Bu türdeki yapılar enerjilerini şebeke tarafından sağlanan elektrik enerjisinden sağlamaktadırlar.
- Eski yapım olan ve genel olarak depolama alanı olarak kullanılan yapılar HG ve HPS lambalarla aydınlatma sistemlerini devam ettirmektedir.
- Kullanıcı profiline bağlı olarak; yine eski yapım olan ve kiraya verilmiş olan yapılarda bu eski ve enerji tüketimi yüksek olan lambalar değiştirilmemiştir.
- Soyunma odaları, WC'ler, çay ocakları gibi küçük alanlı hacimlerde enkandesan lambaların kullanıldığı görülmektedir.
- Yapıların büyük bir kısmında ışık kaynağı floresan lambaların kullanıldığı görülmektedir.
- Floresan lambalar farklı armatürle ve farklı sayı kombinasyonlarıyla kullanılabilme ve aynı zamanda HG, HPS ve enkandesan lambalara göre daha az enerji harcadığı, daha çok aydınlık alan oluşturduğu için tercih edilmektedir.
- Ömrü dolan veya arızalanan lambaların yenilenme maliyeti en düşük floresan lambaların olması tercih sebebi olmuştur.
- Daha büyük ölçekli çalışan veya kullanım ömrü biten lambaları değiştirmek isteyen firmaların tercihi LED lambalar olduğu görülmeye başlanmıştır.
- Büyük ölçekli firmalarda ilk yatırım maliyeti ve amorti etme süresi arasındaki ilişki incelenerek, uygun bulunması durumunda LED lambalara geçiş yapılmaktadır.
- LED lambaların yaygınlaşmaya, HG, HPS ve Enkandesan lambaların azalmaya başlamasına rağmen hala en çok kullanılan lamba tipi Floresan Lambalar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu bilgiler bazı firma yetkilileri ve elektrik taahhüt işleri yapan firmalar ile yapılan sözlü görüşmeler ile elde edilmiştir

### Şek. 5. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Yapılarının Aydınlatma Sistemi Dağılımı [16]



Şekil 5'te görüldüğü üzere, Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde yer alan yaklaşık 1220 adet firmanın aydınlatma kullanım sınıfları belirlenerek, bu sınıflara bağlı karbon salınımı değerleri hesaplanmıştır.

Buna göre yapılan hesaplara ilişkin sonuçlar Tablo.2'de yer almaktadır. Hesaplamalar sonucunda;

HG ve HPS lamba kullanılan 128 adet yapıda (TİP-1) 70 W'lık aydınlatma armatürü kullandığı, buna bağlı olarak 280 kgCO<sub>2</sub>/yıl karbon salımı belirlenerek toplamda 35.840 kgCO<sub>2</sub>/yıl olarak hesaplanmıştır.

Enkandesan lamba kullanılan 46 adet yapının(TİP-2) 75 W'lık aydınlatma armatürü kullandığı, bundan da yaklaşık 222 kgCO<sub>2</sub>/yıl karbon salımı belirlenerek toplamda 10.212 kgCO<sub>2</sub>/yıl olarak hesaplanmıştır.

Floresan lamba kullanılan 752 adet yapının (TİP-3) 2x36W lık aydınlatma armatürü kullandığı, bundan da yaklaşık 203 kgCO<sub>2</sub>/yıl karbon salımı belirlenerek toplamda 152.656 kgCO<sub>2</sub>/yıl olarak hesaplanmıştır.

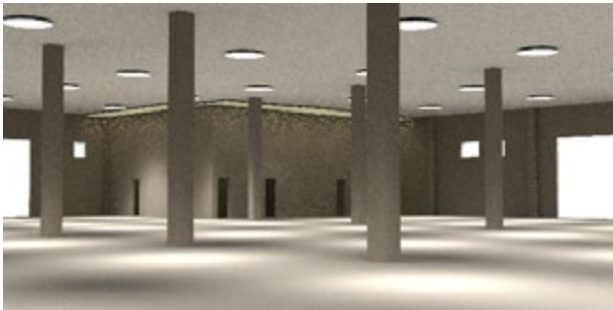
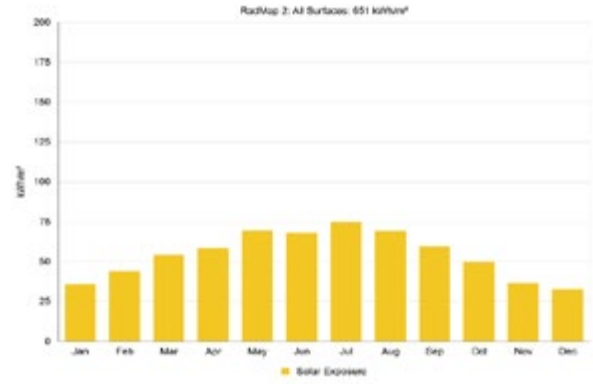
LED lamba kullanan 294 adet yapının (TİP-4) 75W lık aydınlatma armatürü kullandığı, bundan da yaklaşık 97 kgCO<sub>2</sub>/yıl karbon salımı belirlenerek toplamda 28.518 kgCO<sub>2</sub>/yıl olarak hesaplanmıştır.

Toplamda 1220 firmanın bulunduğu Kayseri Organize Sanayi Bölgesinin aydınlatma enerjisinin oluşturduğu karbon salımı 227.256,54 kgCO<sub>2</sub>/yıl olarak hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar özet tablosu olarak Tablo-2'de gösterilmektedir. Grafiksel dökümü ise Şekil-12'de sunulmuştur.

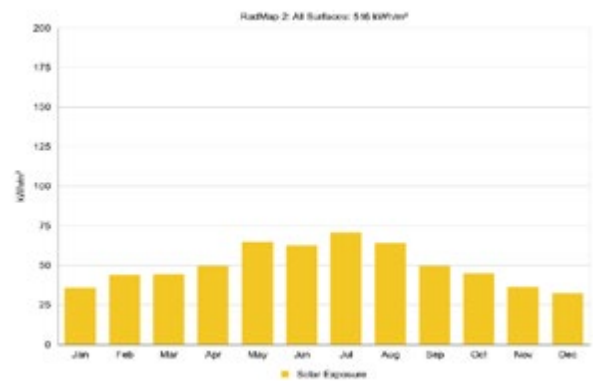
**Tablo 2. Aydınlatma Armatürleri Güç-Karbon Salımı Tablosu**

	Firma Sayısı	Ortalama Güç	Toplam Enerji Miktarı Tüketimi kWh/m2-yıl	Toplam Karbon Salınımı kgCO2/yıl
HG ve HPS Kullananlar	128	651 kW	83.328	35.840
Enkandesan Kullananlar	46	516 W	23.736	10.212
Floresan Kullananlar	752	472 W	354.944	152.656
LED Kullananlar	294	226 W	66.444	28.518
TOPLAM	1220	-	-	227.256,54

Şekil-6 ve Şekil-7'de birim bazında en yüksek enerji sarfiyatı ve karbon salınımı yapan Yüksek Basıncılı Civa veya Sodyum Buharı kullanan bir fabrika binasının planları, iç mekan aydınlatma görüntüleri ve bunlardan çıkarım yapılmış grafikleri görülmektedir. Plan ve iç mekan görüntüleri 21 Haziran tarihini temsil etmekte, grafik ise bir yıl boyunca elde edilen verilerin aylık bazda incelenmesini göstermektedir.

**Şek. 6. Climate Studio ile hesaplaması yapılan Tip-1 Örneğinin İç ve Dış 3D Görüntüleri****Şek. 7. TİP-1'e ait yıllık aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisi miktarını gösteren tablo**

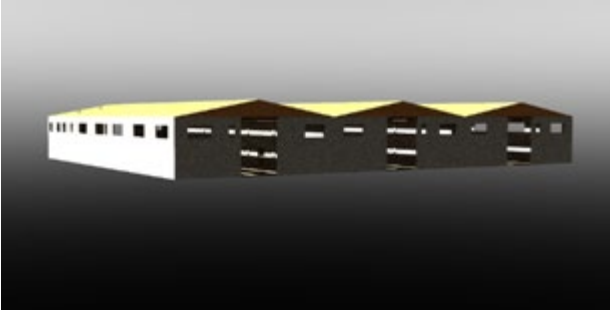
Şekil-8'de birim bazında en yüksek ikinci enerji sarfiyatı ve karbon salınımı yapan bir fabrika binasının bir yıl boyunca aydınlatma enerjisi için harcamış olduğu enerji miktarının aylık bazda grafikleri görülmektedir.

**Şek. 8. TİP-2'ye ait yıllık aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisi miktarını gösteren tablo**

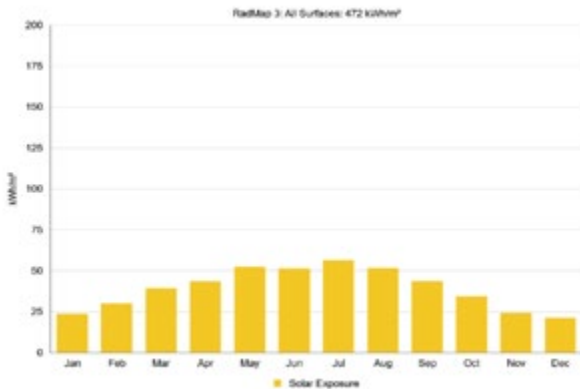


Şekil-9 ve Şekil-10'da en yüksek kullanım alanına sahip Floresan Lambaların kullanıldığı bir fabrika binasının dış cephesi, iç mekan aydınlatma görüntüleri ve bunlardan çıkarım yapılmış grafikleri görülmektedir. Floresan kullanılan binaların mimari yaklaşımlarında ortak olarak görülen eleman çatı ışıklıdır. Doğal ışığın yapay aydınlatma ile destekleniyor oldukları görülmektedir. Dış Cephe ve İç Mekan görüntüleri 21 Haziran tarihini temsil etmekte, grafik ise bir yıl boyunca elde edilen verilerin aylık bazda incelenmesini göstermektedir.

**Şek. 9. Climate Studio ile hesaplaması yapılan Tip-3 Örneğinin İç ve Dış 3D GörSELLERİ**

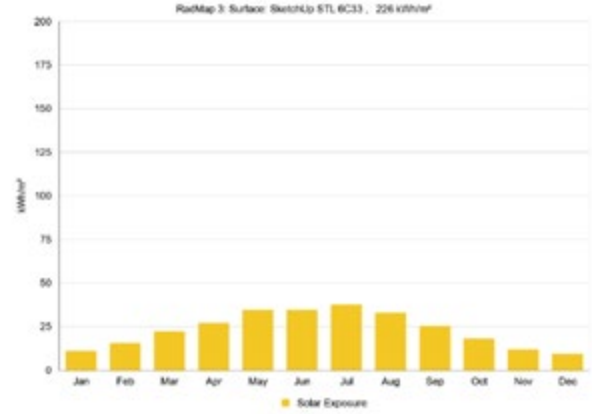


**Şek. 10. TİP-3'e ait yıllık aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisi miktarını gösteren tablo**

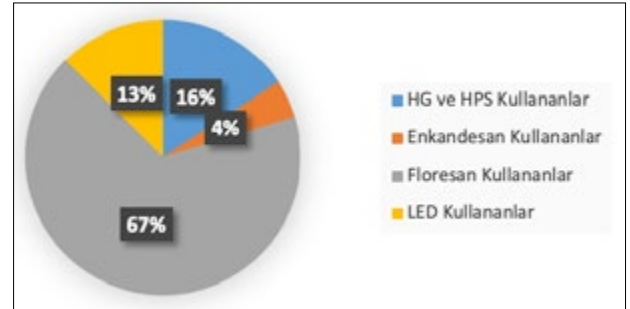


Şekil-11'de ise en yüksek tasarrufa sahip LED lambaların kullanıldığı bir fabrika binasının bir yıl boyunca aydınlatma için harcamış olduğu enerji miktarının aylık bazda incelenmesinin grafikleri görülmektedir.

**Şek. 11. TİP-4'e ait yıllık aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisi miktarını gösteren tablo**



**Şek. 12. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Yapılarının Karbon Salımı Dağılımı**



## 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Kayseri Organize Sanayi Bölgesinde bulunan 1220 Endüstri yapısının Karbon Ayak İzlerinin hesaplanması ile elde edilecek bulgulardan çevresel farkındalığın artırılması amaçlanmıştır.

Anket sonuçlarına göre en yüksek karbon ayak izi Floresan Lamba kullanan yapılarda görülmektedir (ortalama 152.656 kg CO<sub>2</sub>/yıl). Ancak bu değeri değerlendirmeyi yapmadan önce değinilmesi gereken önemli bir detay vardır. Floresan lambalara birim ölçüğünde bakıldığında LED'lerden sonra en fazla enerji tasarrufu sağlayan armatürler olmasına karşılık, diğer rakiplerinden çok

daha geniş bir kullanıcı sayısına sahip olduğu için, toplamda en yüksek karbon salımına ulaşmıştır. Yine birim ölçüğünde bakıldığında ise en fazla karbon salımı HG ve HPS Lambalarda meydana gelmektedir.

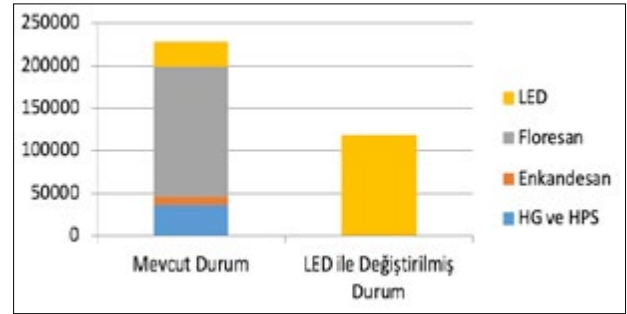
Yüksek enerji sarfiyatı ve buna bağlı olarak oluşan karbon salımına sahip HG ve HPS Lambaların hala kullanılmakta olmasının sebebi yapı sahiplerinin yapılarını kiraya verdikleri için yatırım maliyetine gerek duymamaları veya depo olarak kullanıldığı için olduğu görülmüştür.

Hesaplamaların ortaya koyduğu sonuç, yalnızca aydınlatma enerjisi için bile hangi seviyede karbon salımı olduğu görülmektedir. Bu durumun daha ötesi aydınlatma için harcanan enerjinin asıl üretim ve ulaşım için harcanan enerjinin yanında en küçük ölçekli olarak kalacağı bir gerçektir. Bu çalışmanın değerlendirmeye alınamayan ancak çok önemli olan bir parametresi ise kullanılan lambaların verimlilik süresini doldurup doldurmadığıdır. Bu parametre de incelenecek olsaydı sadece aydınlatmanın oluşturduğu karbon ayak izi bile daha yüksek seviyelerde olacaktı. Bu durumun önüne geçmek için yapılabilecek öneriler;

- Kullanım ömrü dolmuş olan lambaların LED lambalara dönüştürülmesi,
- Kullanım ömrü henüz dolmamış olan armatürlerin, yenileme maliyetleri ile yıpranma payı maliyeti hesaplanarak, uygunsa LED lambalara dönülmesi,
- Lambaların verimli kullanım süreleri dolanların yenileri ile değiştirilmeleri
- Çatı ışıklığı ve cephe açıklığı gibi doğal aydınlatma sağlanabilecek tercihlerin kontrol edilmesi
- Dimmerlenebilir veya hareketli sensörler yardımıyla lambaların kullanım sürelerinin kısaltılması, gereksiz aydınlatmanın önlenmesi,
- Uzman kişilerden aydınlatma simülasyon programları ile hesap edilen uygun ve yeterli güçte aydınlatma elemanı seçimi desteği alınması gerektiği olabilir.

Bu çalışmanın benzer nitelik ve amaçta yapılmış olan yurtdışı çalışmalar incelendiğinde genel olarak LED sistemlere geçişin enerji tasarrufu ve doğal olarak da karbon salımını azaltmış oldukları görülmüştür.

**Şek. 13. Mevcut Durum ve Led ile Değiştirilmiş Durum Karşılaştırma Grafiği**



Kayseri Organize Sanayi bölgesinde bulunan 1220 adet firmanın, aydınlatma armatürlerini LED sistemlerle değiştirmesi durumunda karbon salımı yaklaşık 118.340 kgCO<sub>2</sub>/yıl olacaktır. Değişim ve ilk yatırım maliyeti ihmal edilecek olursa bu değer yaklaşık %48'lik bir tasarruf anlamına gelmektedir (Şekil 13).

#### KAYNAKLAR / REFERENCES

1. Balta M., Endüstri Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltımı Ve Enerji Verimliliği, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2020
2. Özlem B., Seçilen Bir Kağıt Fabrikasında Karbon Ayak İzi Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013
3. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliği. Ankara. 2014. Ek-5.
4. Web Sitesi, [https://iklim.csb.gov.tr/paris\\_anlasması](https://iklim.csb.gov.tr/paris_anlasması) Erişim Tarihi: 16.06.2021
5. CIE Publication, 2002. The Correlation of Models of Vision and Visual Performance. Commission Internationale de L'Eclairage, Vienna, Avustria.
6. Yıldırım, B., Erikli, M., 2021. Aydınlatma İlkeleri ve Kullanıldığı Yapılara Göre Doğal Aydınlatma. Online Journal of Art and Design volume 9, issue 2.
7. Chang, Y., Wei, Y., Zhang, J., Xu, X., Zhang, L., Zhao, Y., 2021. Mitigating The Greenhouse Gas Emissions From Urban Roadway Lighting in China Via Energy-Efficient Luminaire Adoption And Renewable Energy Utilization. Resources, Conservation & Recycling 164 (2021).
8. Wiedmann, T., Minx, J., 2008. A definition of 'carbon footprint'. Hauppauge NY: Nova Science Publishers.
9. Yaka, İ., Koçer, A., Güngör, A., 2015. Akdeniz Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Karbon Ayak İzinin Tespiti. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 12, No: 3, 2015 (37-45)
10. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Personelleri ile yapılan görüşmeden elde edilmiştir.
11. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Uydu Görünümü. <https://www.google.com/intl/tr/earth/> (Erişim Tarihi: 18.05.2021)
12. Sezer S., Endüstri Yapılarının Yeniden İşlevlendirilme Sürecinde Aydınlatma Tasarımı: Ankara Cer Modern Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013

13. Kartal S., Erten Ş., Aydınlatma Enerjisi Verimliliği Üzerine Bir Çalışma: Endüstri Yapısı Örneği, UHMFD, 2016
14. Özçelik G., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Kampüsünün Enerji Ve Karbon Ayak İzi Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017
15. Demirbaş F., Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018
16. Anket çalışmaları sonucunda elde edilmiş verilerdir.
17. TÜİK, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2019, Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni Sayı: 37196, 2021
18. Üreden, A., Özden, S., Kurumsal Karbon Ayak İzi Nasıl Hesaplanır: Teorik Bir Çalışma. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi 4(2): 98-108, 2018
19. Gümrükçüoğlu M., Şeneren M., Küresel Isınmaya Karşı Karbon Ayak İzi Azaltılmış Yeşil Bina, ISHAD page: 803-808, 2018
20. Argun M., Ergüç R., Sarı Y., Konya/Selçuklu İlçesi Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi, S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.7, s.2, ss. 287-297, 2019
21. Haksevenler B., Onat G., Akpınar B., Bedel T., Yerel Yönetimler İçin Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Ümraniye Belediyesi Örneği, Doğ Afet Çev Derg; 6(2): 319-333, DOI: 10.21324/dacd.639370, 2020
22. Jiandong C. Ming G. Sachin K. Manglab M. S. Jie W. Effects of technological changes on China's carbon emissions. Technological Forecasting and Social Change, Volume 153, April 2020.
23. Adamsa S., Acheampong A. O. Reducing carbon emissions: The role of renewable energy and democracy. Journal of Cleaner Production Volume 240, 10 December 2019.
24. Ergüzel A.T. A study on the implementation of dimmable street lighting according to vehicle traffic density, Optik, Volume 184, Pages 142-152, May 2019.
25. Chao C. Chen H., Tsai Y., Cost Assessment Model of Airport Runway Lighting Systems with Consideration on Carbon Emissions, Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation, Vol.53 No.1 (2021 / 03 / 01) , P67 – 82
26. Pagden M., Ngahane K., Amin R., Changing the colour of night on urban streets - LED vs. part-night lighting system, Socio-Economic Planning Sciences Volume 69, March 2020.
27. Pracki P., Wiśniewski A., Czyżewski D., Krupiński R., Skarżyński K., Wesołowski M., Czaplicki A. Strategies influencing energy efficiency of lighting solutions, Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences Technical Sciences, Vol. 68, No. 4, 2020.
28. Benhamaid S., Abdelmadjid, Bouabdallah, Lakhef H., Recent advances in energy management for Green-IoT: An up-to-date and comprehensive survey, Journal of Network and Computer Applications, 2021
29. Crottia D., Grechib D., Maggia E., Reducing the carbon footprint in college mobility: The car commuters' perspective in an Italian case study, Environmental Impact Assessment Review, 2022
30. Szatyłowicz E., Skoczko I., Puzowski P., Method of Estimating the Carbon Footprint of Wastewater Treatment Plants, Department of Technology in Environmental Engineering, Faculty of Civil and Environmental Science, Białystok University of Technology, Wiejska 45A, 15-351 Białystok, Poland.
31. Mancini M.S., Galli A., Niccolucci V., Lin D., Bastianoni S., Wackernagel M., Marchettini N., Ecological Footprint: Refining the carbon Footprint calculation, Ecological Indicators Volume 61, Part 2, February 2016, Pages 390-403.
32. Espinoza-Orias N., Stichnothe H., Azapagic A., The carbon footprint of bread, The International Journal of Life Cycle Assessment volume 16, pages351–365 (2011).
33. Adhikari P., Mahmoud H., Xie A., Simonen K., Ellingwood B., Life-cycle cost and carbon footprint analysis for light-framed residential buildings subjected to tornado hazard, Journal of Building Engineering Volume 32, November 2020.
34. An J., Xue X., Life-cycle carbon footprint analysis of magnesia products, Resources, Conservation and Recycling Volume 119, April 2017, Pages 4-11.
35. Dieleman J.A., Visser P.H.B., Vermeulen P.C.M., Reducing the carbon footprint of greenhouse grown crops: re-designing LED-based production systems, ISHS Acta Horticulturae 1134: VIII International Symposium on Light in Horticulture, 2016.