

## Binaların Farklı Pencere Türlerine Bağlı Elektrik Enerjisi Tüketimleri ve Sosyal Emisyon Maliyetleri

Okan KON 

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü  
Çağış Kampüsü, 10145, Balıkesir, Türkiye  
okan@balikesir.edu.tr

### Özet

Binalarda kullanılan elektriği üreten güç santrallerinden atmosfere salınan CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi emisyonların miktarındaki artış göz önüne alındığında, bu emisyonların neden olduğu hasarları gidermek için ek bir maliyet getirecektir. Fazla emisyon salınımı, meydana gelen hasarı gidermede maliyeti karşılamak için vergilendirmeler yapılarak toplumun farkındalığı arttırılacaktır. Bu amaçla çalışmada, ilk olarak Türk yalıtım standardı TS 825'e göre dört iklim bölgesini temsilen seçilen; İzmir, Manisa, Afyon ve Kastamonu illerindeki binaların elektrik enerji tüketimi hesaplanmıştır. Bunun için örnek alınan binanın elektrik enerjisi tüketimi hesaplanmıştır. Bina enerji tüketimi hesaplanırken cam türleri olarak, tek cam, çift cam, yalıtımlı cam ve üçlü cam olması dikkate alınmıştır. İkinci olarak, tüketimi yapılan bu elektriğin güç santrallerinde üretiminde meydana gelecek CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları tespit edilmiştir. Daha sonra bu emisyonların ortadan kaldırılması için sosyal emisyon maliyetleri hesaplanmıştır. Son olarak 2030, 2040 ve 2050 yılları için farklı iskonto oranlarına bağlı sosyal emisyon maliyetleri için öngörülerde bulunulmuştur. Güç santrallerinin elektriği üretirken kömür ve doğal gaz kullandıkları kabul edilmiştir. Sonuç olarak, CO<sub>2</sub> emisyonu için en yüksek sosyal emisyon maliyeti kömür kullanan güç santrallerinde 2050 yılı ve % 2.5 iskonto oranında, dördüncü iklim bölgesindeki Kastamonu ilinde ve tek camlı pencerelere sahip binalarda 7092.089 \$ ve en düşük ise doğal gaz kullanan güç santrallerinde birinci iklim bölgesindeki İzmir ilinde yalıtım camlı pencerelere sahip binalarda, 2030 yılı ve % 5 iskonto oranında 98.7 \$ olarak hesaplanmıştır. NO<sub>x</sub> emisyonu için sosyal emisyon maliyeti en yüksek doğal gaz kullanan güç santrallerinde, 2050 yılı ve % 2.5 iskonto oranında, 958.1 \$ ve en düşük ise kömür kullanan güç santrallerinde, 2050 yılı ve % 2.5 iskonto oranında, dördüncü iklim bölgesindeki Kastamonu ilinde ve tek camlı pencerelere sahip binalarda 20.1 \$ olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Güç santralleri, emisyonlar, enerji tüketimi, binaların enerji tüketimi, emisyonların sosyal maliyeti

## Electrical Energy Consumption and Social Emission Costs of Buildings Due to Different Window Types

### Abstract

Considering the increase in the amount of emissions such as CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> released into the atmosphere from electricity generating power plants for the electricity used in buildings, it will bring an additional cost to eliminate the damages caused by these emissions. The awareness of society will be increased by making taxation to cover the cost of excess emissions, and the damage caused. In this study, firstly the electrical energy consumption of buildings in İzmir, Manisa, Afyon and Kastamonu provinces that represent four climate zones according to Turkish insulation standard TS 825 has been calculated. For this, the electrical energy consumption of the reference building was calculated. While calculating the energy consumption of the building, single glass, double glass, insulated glass and triple glass are taken into account as glass types. Secondly, the CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions that will occur in the production of this consumed electricity in the power plants have been determined. Then, social emission costs are calculated to eliminate these emissions. Finally, projections have been made for the social emission costs due to different discount rates for the years 2030, 2040 and 2050. It is assumed that power plants use coal and natural gas to generate electricity. As a result, the highest social emission cost for CO<sub>2</sub> emissions was calculated as 7092.089 \$ for buildings with single-glazed windows and in Kastamonu province in the fourth climate zone in 2050 at a 2.5% discount rate for coal-fired power plants. The lowest is calculated as 98.7 \$ in 2030 and at a 5% discount rate in buildings with insulating glass windows in İzmir province in the first climate zone in power plants using natural gas. The social emission cost for NO<sub>x</sub> emissions is calculated as 958.1 \$ in 2050 at a 2.5% discount rate in the power plants using natural gas with the highest social emission cost. The lowest cost was determined as 20.1 \$ in power plants using coal, in 2050 and at a 2.5% discount rate, in Kastamonu province in the fourth climate zone and in buildings with single-glazed windows.

**Keywords:** Power plants, emissions, energy consumption, energy consumption of buildings, social emission costs

### 1. GİRİŞ

Karbonun Sosyal Maliyeti (Social Cost of Carbon-SCC) küresel ısınma ekonomisi ve politikasında yeni ve önemli bir kavram olarak dikkat edilmektedir [1]. Karbonun sosyal maliyeti, karbon dioksit emisyonlarının net ekonomik maliyetini gösteren, iklim hasarlarını ölçmek ve paraya dönüştürmek için tasarlanmış bir ölçüdür. Basitçe, karbonun sosyal maliyeti, atmosfere salınan her bir ton karbondioksitin verdiği hasarın parasal bir tahminidir. Karbonun sosyal maliyeti, politikaları değerlendirmek ve sera gazı emisyonlarını etkileyen kararları yönlendirmek için kullanılabilir. Karbonun sosyal maliyeti, politikaları değerlendirmek ve sera gazı emisyonlarını etkileyen kararları yönlendirmek için kullanılabilir [2]. Karbonun sosyal maliyeti değeri, genellikle 100 yıl veya daha uzun bir süre için, atmosfere salınan karbonun iklim değişikliği üzerinde meydana getirdiği etkinin net bugünkü değeri olarak hesaplanmaktadır [3].

Literatürdeki çalışmaları incelenirse, Mirici M. E., Berberoğlu S., Gültekin E. yaptıkları çalışmada, karbonun sosyal maliyeti (Social Cost of Carbon-SCC) çerçevesinde geliştirilen modeller ve SCC modellerindeki etken faktörler değerlendirilmiştir [1]. Tunahan H. yaptığı çalışmada, karbon salınımı azaltmaya yönelik yeni finansman yöntemlerinin analizini ve bu yöntemlere bağlı olarak ortaya çıkan karbon piyasalarının yapısını ve performansını açıklamayı amaçlamaktadır. Çalışmada, karbon fiyatlarını etkileyen en önemli unsurların; global üretim düzeyi, petrol ve doğalgaz fiyatlarında meydana gelen değişimdir [3]. Mirici M. E. ve Berberoğlu S., yaptıkları çalışmada, bölgesel ve ülkesel sosyal maliyeti (Social Cost of Carbon-SCC) tahminlerinde kullanılan İklim ve Ekonominin Bölgesel Entegrasyon Modeli (Regional Integrated model of Climate and Economy-RICE) modeli incelemiştir. Bu amaçla, RICE modelinin temel yaklaşımı ve ülkemize uygulanabilirliğini araştırılmıştır [4]. Shirizadeh B ve Quirion P. yaptıkları çalışmada, çok çeşitli sosyal karbon maliyeti (SCC) değerleri için 2050 yılı için Fransız enerji sistemine etkisini incelemiştir [5]. Khanna M.,

Chen X., Wang W., Oliver A. yaptıkları çalışmada, Temiz Enerji Planının, ABD'de yenilenebilir portföy standartları eklenerek, yürürlükten kaldırmanın sera gazı ve refah düzeyine etkilerini incelemektedirler. Temiz Enerji Planının metrik ton CO<sub>2</sub> başına artan refah maliyetlerinin, CO<sub>2</sub>'nin küresel sosyal maliyetinden önemli ölçüde daha düşük olacağını bulunmuştur. Ayrıca, Temiz Enerji Planının yenilenebilir yakıt üreticilerine fayda sağlarken, tüketicilere ve fosil yakıt üreticilerine büyük refah maliyetleri getireceğini de tespit edilmiştir [6]. Kon O. ve Caner İ. Avrupa'da Brüksel, Sofya, Prag, Berlin, Madrid, Talin, Helsinki, Paris, Atina, Budapeşte, Roma, Amsterdam, Oslo, Varşova, Stokolm ve Ankara şehirleri için binaların ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji kaynaklarına bağlı karbondioksit ve azot oksitler gibi sera gazı emisyonları incelemiştir. Bu emisyonlar yaşam döngüsü emisyon analizine göre on yıllık dönem için hesaplanmıştır [7]. Kon O. ve Caner İ. yaptıkları çalışmada, 2013 te yenilenen Türk Yalıtım Standardı TS 825'e göre beş iklim bölgesi için dış duvarlar, tavanlar ve döşemeler gibi yapı kabuğunun ısı transfer katsayılarındaki azalmaya bağlı olarak emisyon azaltımındaki değişim araştırılmıştır. Isıtma derecesi-gün değeri en yüksek olan beş il ve ısıtılan bina kabuğunun toplam alanı en yüksek olan beş il için emisyon değişimleri araştırılmıştır. Yakıt olarak kömür ve doğal gazın kullanıldığı düşünülmüştür. Hesaplamalarda yakıtların yanma denklemleri ve CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları incelenmiştir [8]. Mirici M. E., yaptığı doktora çalışmasında, Türkiye karbon depolama ve karbon tutulumu süreci, ekosistem çerçevesinde modellenmiştir. Karasal karbon depolama ve karbon tutulum hizmetine yönelik birim alanda; toprak üstü biyokütle karbonu, toprak altı biyokütle karbonu, toprak karbonu ve döküntü karbonu; Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımı ile haritalanmıştır. Regional Integrated Model of Climate and Economy (RICE) modelinden yararlanılarak, atmosfere salınan CO<sub>2</sub> salınımının sosyal maliyeti ülkemize yönelik modellemeleri yapılmıştır [9]. Kon O. ve Caner İ. yaptıkları çalışmada, binaların soğutulmasında kullanılan elektriği üreten güç santrallerden salınacak emisyonlar incelemiştir. Bunun için güç santrallerinden atmosfere salınan emisyonların miktarını azaltan yeni teknolojilerden biri olan karbon yakalama ve depolama sistemi araştırılmıştır. Karbon yakalama ve depolama sistemi kullanımı ve kullanımından oluşacak emisyonlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada, uzun vadeli yaşam döngüsü emisyon değerlendirmesi yapılmıştır [10]. deLlano-Paz, F. vd. yaptıkları çalışmada, portföy teorisi hem ekonomik hem de çevresel açıdan verimli elektrik üretimine uygulamışlardır. Yeni önerdikleri modelde, farklı teknolojiler için tüm üretim maliyetlerini ve bunlardan kaynaklanan karbondioksit, kükürt dioksit, azot oksitler ve partikül madde gibi kirletici gazların emisyon risklerini içerir. Çalışmada, sonuç olarak, Avrupa enerji karışımındaki yenilenebilir enerji teknolojilerinin payını artırmak ve çevresel etkiyi azaltmak için rüzgar enerjisinin mümkün olduğunca teşvik etme ihtiyacını göstermektedir [11]. Kon O. ve Caner İ. çalışmalarında, Avrupa'dan seçilen 20 başkent için soğutma döneminde; kömür, doğalgaz ve fuel-oil enerji kaynakları ile güç santrallerinde üretimi yapılan elektriğin binalarda tüketimi ile atmosfere salınacak CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları araştırmışlardır [12]. Ghaith A. F. ve Epplin F. M. yaptıkları çalışmada, ABD de beş farklı bölgedeki konutlar için tahmini 37.2 \$/Mg karbon sosyal maliyetine eşit bir karbon vergisinin hane elektrik maliyeti üzerindeki sonuçlarını değerlendirmek ve haneler için yenilenebilir enerji kullanarak mikro elektrik üretim için yeni şebeke kurmayı teşvik edilip edilemeyeceği ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Çalışmada, ABD Enerji Bakanlığı tarafından yapılan simülasyonlar kullanılmıştır [13]. Stern N. ve Stiglitz J. E. çalışmalarında, İklim politikasını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan metodolojilerdeki temel kusurları belirleyerek, buna bağlı olarak karbonun sosyal maliyetinin daha ayrıntılı hesaplanabileceği, belirlediğimiz temel unsurları göre alternatif bir metodoloji önerilmiştir [14]. Tol R. S. J. çalışmasında, karbonun sosyal maliyetine ilişkin 211 tahmin bir meta analizi yapmıştır. Çalışmada, iskonto oranının etkisi incelenmiştir. Sonuçta, ileri yıllarda iklimin ekonomik etki tahminlerinde birçok insanın yıllık gelirini aşması durumu olabileceği görülmektedir [15]. Ackerman F. ve Stanton E. A. çalışmalarında, iklim değişikliği ekonomisindeki iklim duyarlılığı parametresinin değeri, düşük sıcaklıklarda beklenen iklim zararlarının seviyesi, yüksek sıcaklıklarda hasar seviyesi ve iskonto oranı gibi dört büyük belirsizliğin ileriki dönemlerde çok daha büyük etkilere işaret edebileceğini tespit ederek, SCC yeniden incelemiş ve analizi yapılmıştır [16]. Nordhaus W. yaptığı çalışmada, güncellenmiş bir entegre değerlendirme modeli olan DICE-2013R modelini kullanarak SCC'yi tahmin etmektedir. ABD de SCC nin, 2050'ye kadar olan süre boyunca yılda ortalama %3 oranında büyüyeceğini tahmin etmektedir [17]. Tol R. S.J. yaptığı çalışmada, iklim değişikliğinin ekonomik etkisine ilişkin literatürü incelemiştir. Çalışmada ek olarak iklim değişikliğinin insan refahı üzerindeki etkisini tahmin etmek için farklı yöntemler kullanılmıştır [18]. Anthoff D. ve Tol R. S.J. çalışmalarında, iklim değişikliğinin ekonomik etkisini literatürdeki diğer

modellerden daha ayrıntılı bir şekilde inceleyen bir model olan FUND ile tahmin edildiği, karbonun sosyal maliyetinin etkileyen parametreleri analiz etmişlerdir. Kullanılan analizdeki bazı parametreler özellikle kısa vadede etkili iken, diğer parametreler uzun vadede etkilidir [19]. Tseng S. C. ve Hung S. W. yaptıkları çalışmada, bir tedarik zinciri ağının işletilmesinden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının neden olduğu hem operasyonel maliyetleri hem de sosyal maliyetleri dikkate alan bir karar verme modeli önermektedirler. Bu model, bir hazır giyim imalat tedarik zinciri ağında farklı senaryolar altında karbondioksit emisyonlarını ve işletme maliyetlerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, karbondioksit emisyonlarının sosyal maliyet oranı ne kadar yüksek olursa, karbondioksit emisyon miktarının o kadar düşük olduğunu göstermiştir [20]. Mier M., Adelowo J. ve Weissbart C. yaptıkları çalışmada, sosyal ve özel iskonto oranlarına bağlı CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmayı araştırmışlardır. Çalışmada, 2050 yılına kadar Avrupa elektrik piyasasının teknoloji ve emisyon karışımını belirlemek ve toplu sosyal maliyeti ölçmek için EUREGEN ile modellemeler yapmışlardır [21]. Anthoff D., Tol R. S. J. ve Yohe G. W. çalışmalarında, karbonun sosyal maliyeti incelenirken, zaman tercihi oranı ve riskten kaçınma oranı olarak iki önemli parametre üzerinde sistematik bir duyarlılık analizini yapmışlardır [22]. Hope C. yaptığı çalışmada, çeşitli emisyon senaryoları altında karbonun sosyal maliyetini en aza indiren CO<sub>2</sub> emisyonlarının yolunu bulmak için PAGE2002 modelini kullanmıştır [23]. Dedoussi I. C. vd. çalışmalarında ABD elektrik enerjisi üretiminden kaynaklanan ton CO<sub>2</sub> emisyonu başına ortak kirletici emisyonlarının maliyetini ölçmüşlerdir. Ortak kirletici karbon maliyetini (CPCC), ortak kirleticiye sebep olduğu, ABD merkezli erken ölümlerle ilişkili istatistiksel olarak ölçülmüştür [24]. Mikhailova, E. A. çalışmalarında, toprak karbonunun (C) çiftlik ölçөгindeki parasal değerinin ve SCH'nin hem Soil Survey Geographic (SSURGO) veri tabanını hem de saha ölçümlerini kullanarak önlenen CO<sub>2</sub> emisyonlarının sosyal maliyetine dayalı olarak haritalanmasının yapmışlardır [25]. Guo J. vd. yaptıkları çalışmada, karbonun sosyal maliyeti üzerinde iskonto oranının etkisini ve bir tondan yayılan karbondan kaynaklanan sosyal zararı incelemişlerdir. FUND 2.8 entegre değerlendirme modelini kullanmışlardır [26]. Johnson L. T. ve Hope C. yaptıkları çalışmada, 2010 yılında, ABD'nin verimlilik standartlarına ilişkin koyduğu kurallara bağlı olarak karbonun sosyal maliyeti (SCC) için CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmanın faydalarına ilişkin tahminleri incelemişlerdir [27]. Mandell S. yaptığı çalışmada, sosyal maliyet yaklaşımının gölge fiyat yaklaşımına dikkat edilmesi gerektiğini tartışmaktadır [28]. Greenstone M., Kopits E. ve Wolverton A. çalışmalarında, kurumlar arası çalışma grubu tarafından düzenleyici karar vermede kullanılmak üzere bir dizi SCC tahminleri geliştirmek için kullanılan metodoloji incelenmiştir [29]. Marten A. L. ve Newbold S. C. çalışmalarında, ABD de, 2010-2050 yılları için en önemli üç sera gazının (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O) sosyal maliyetlerini tahmin etmek için MAGICC ve DICE ögelerini birleştiren basitleştirilmiş bir entegre değerlendirme modeli kullanarak incelemişlerdir [30]. Pearce D. yaptığı çalışmada, karbonun gölge fiyatı veya sosyal maliyeti, günümüzde sera gazı salınımının neden olduğu küresel artan hasar için Birleşik Krallıkta maliyet değerlendirmesini gözden geçirmekte ve maliyet ile faydaları dengelemek için kullanılan entegre değerlendirme modellerinin incelemektedir [31]. Paul, A., Beasley, B. ve Palmer K. yaptıkları çalışmada, elektrik üretiminde karbonun sosyal maliyetine (SCC) dayalı bir karbon vergisi uygulamanın, elektrik piyasaları üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Sektördeki emisyon azaltılmasının vergi düzeyine bağlı olduğunu tahmin etmektedirler [32]. Shindell D. T. çalışmalarında, ABD de belirli bir yılda karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarında kademeli bir artışla bağlantılı, tahmini zararların değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan metodoloji ile Sosyal Karbon Maliyetini (SCC) incelemiştir. İklim hasarları ile birlikte hava kalitesinin ekosistem ve sağlık üzerindeki etkileri araştırılmıştır [33]. Bergh J. C. J. M. v. d. ve Botzen W. J. W. çalışmalarında, karbonun sosyal maliyetini (SCC) tahmininde ihmal edilen maliyet kategorileri, iskonto ve hasar maliyetlerinin kullanılmasını incelemişlerdir [34]. Nordhaus W. D. yaptığı çalışmada, terim, ek bir ton karbondioksit emisyonunun veya eşdeğerinin neden olduğu ekonomik maliyeti temsil karbonun sosyal maliyetini (SCC) revize edilmiş bir DICE modeline (İklim ve Ekonominin Dinamik Entegre Modeli) dayalı güncellenmiş tahminler yapmıştır [35]. Wang P., Deng X. ve Zhou d., Yu, S. çalışmalarında, literatür araştırması yapılarak karbon sosyal maliyeti (SCC) için yüksek bir iklim duyarlılığına sahip bir meta analizi yapmışlardır [36].

Çalışmanın amacı, binaların ısıtılmasında elektrik kullanımının güç santrallerinde elektriğin üretimi esnasında meydana gelen emisyonların hasarlarının ortadan kaldırılması için emisyon maliyetlerini araştırmaktır. Bunun için 2030, 2040 ve 2050 yılları için sosyal emisyon maliyetleri tahminleri

hesaplanmıştır. Sosyal emisyon maliyetleri hesaplanırken % 5, % 3 ve % 2.5 ıskonto oranları temel alınmıştır. Örnek alınan binanın, TS 825 'e göre dört farklı iklim bölgesini temsilen seçilen ve elektrik tüketimi yüksek olan dört şehire bağlı ısıtma için elektrik enerjisi tüketimi hesaplanmıştır. Örnek alınan binanın ısıtılmasında kullanılan elektrik enerji ihtiyacı farklı cam türlerine göre değişimi incelenerek tespit edilmiştir. Sosyal emisyon maliyetleri bulunurken, güç santrallerinde kömür ve doğal gaz kullanılarak elektrik üretildiği kabul edilmiştir ve CO<sub>2</sub> ile NO<sub>x</sub> emisyonları dikkate alınmıştır. Bu emisyonlar elektrik üreten güç santralleri için literatürde en çok dikkat edilen emisyonlardandır. Güç santrallerinde elektrik üretilirken kullanılan yakıta bağlı olarak atmosfere salınan bu iki emisyon değeri farklılık göstermektedir. Dört iklim bölgesini temsilen İzmir, Manisa, Afyon ve Kastamonu şehirleri seçilmiştir. Binaların enerji tüketimi hesaplanırken, tek cam, çift cam, yalıtımlı cam ve üçlü cam türleri referans alınmıştır. Binaların ısıtılması ve soğutulması için önemli ölçüde elektrik kullanılmaktadır. Bu elektrik enerjisi tüketimi, binaların yapı özellikleri bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu çalışmada örnek alınan bir binada farklı pencere özellikleri ile elektrik enerjisi ne ölçüde azalacağı araştırılmıştır. Binalarda kullanılan elektriği üreten güç santralleri bu işlem sırasında atmosfere önemli ölçüde emisyon salınımı yapmaktadırlar. Buda ekosisteme ve insan sağlığına önemli olumsuz etkiler ve hasarlar meydana getirmektedir. Bu emisyonların meydana getirdiği hasarları ve olumsuz etkiyi gidermek için yüksek miktarda maliyet oluşturmaktadır. Bu çalışmada, örnek alınan binanın cam türündeki değişiklikler ile ısınma amaçlı kullanılan elektriğin miktarının değişimi ve buna bağlı emisyonların mali değeri olarak bilinen karbon sosyal maliyetindeki (SCC) değişim incelenmiştir. Bu konu ile ilgili ülkemizde yeterli çalışma olmadığı görülmüştür. Bu çalışma ile ülkemizdeki literatüre katkı sağlanmış olacaktır. Binaların kullandıkları elektriğin güç santrallerinde üretimi sırasında, meydana gelen emisyonları ortadan kaldırmaya yönelik mali değerlerin olduğu anlatılarak, bu konuda hassasiyet ve farkındalık artırılmış olacaktır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. TS 825 göre Binaların Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesabı

Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı [37,38],

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (1)$$

Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı ise,

$$Q_{ay} = [H \cdot (T_i - T_d) - \eta_{ay} \cdot (\Phi_{i-ay} - \Phi_{s-ay})] \quad (2)$$

Burada,  $T_i$  ve  $T_d$  iç ve dış ortam sıcaklıklarını,  $\eta_{ay}$  aylık ortalama kazanç kullanım faktörünü,  $\Phi_{i-ay}$  binalarda iç kazançları,  $\Phi_{s-ay}$  aylık ortalama güneş enerjisi kazancını göstermektedir. Binanın özgül ısı kaybı (H), iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ( $H_T$ ) ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının ( $H_V$ ) toplamıdır.

$$H = H_T + H_V \quad (3)$$

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı,

$$H_T = \sum A \cdot U \quad (4)$$

$$\sum A \cdot U = U_d \cdot A_d + U_p \cdot A_p + U_k \cdot A_k + 0.8 U_{ta} \cdot A_{ta} + 0.5 U_{dö} \cdot A_{dö} \quad (5)$$

Burada,  $U_d$  dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı,  $U_p$  pencerenin ısı geçirgenlik katsayısı,  $U_k$  dış kapının ısı geçirgenlik katsayısı,  $U_{ta}$  tavanın ısı geçirgenlik katsayısı,  $U_{dö}$  zemine oturan tabanın ısı geçirgenlik katsayısını göstermektedir.  $A_d$  dış duvarın,  $A_p$  pencerenin,  $A_k$  dış kapının,  $A_{dö}$  tavanın ve  $A_{dö}$  zemine oturan tabanın alanlarını göstermektedir.

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı,



$$H_V=0.33.n_h.V_h \quad (6)$$

Burada,  $n_h$  hava değişim oranını ( $0.7 \text{ h}^{-1}$  alınmıştır) ve  $V_h$  ise havalandırılan hacmi ( $V_h = 0.7.V_{\text{brüt}}$ ) göstermektedir. Binanın ısıtılan tüm hacmi olan brüt hacmi  $V_{\text{brüt}}$  ile temsil edilmektedir.

Konutlarda, binalarda iç kazançlar olarak birim kullanım alanı başına en fazla  $5 \text{ W/m}^2$  alınır.

$$A_n=0.32.V_{\text{brüt}} \quad (7)$$

Burada,  $A_n$  bina kullanım alanıdır.

$$\Phi_{i\text{-ay}} \leq 5.A_n \quad (8)$$

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı,

$$\Phi_{s\text{-ay}} = \sum r_{i\text{-ay}} \cdot g_{i\text{-ay}} \cdot I_{i\text{-ay}} \cdot A_i \quad (9)$$

Burada,  $r_{i\text{-ay}}$ , “i” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörünü,  $g_{i\text{-ay}}$ , “i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörünü,  $I_{i\text{-ay}}$ , “i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddetini ve  $A_i$ , “i” yönündeki toplam pencere alanını göstermektedir.

Binalardaki iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının toplamının, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmesi her zaman uygun olmaz. Çünkü ısı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde, kazançlar anlık kayıplardan fazla olabilir veya kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır; bu faktörün büyüklüğü, kazançların ve kayıpların bağlı büyüklüğüne bağlıdır.

Kazanç / kayıp oranı,

$$KKO_{ay} = (\Phi_{i\text{-ay}} + \Phi_{s\text{-ay}}) / H. (T_i - T_{d\text{-ay}}) \quad (10)$$

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü [37,38],

$$\eta_{ay} = 1 - e^{-\frac{1}{KKO_{ay}}} \quad (11)$$

## 2.2. Hesaplamalarda Kullanılan Değerler

Çalışmada, TS 825 yalıtım standardına göre örnek alınan  $22 \times 11 \times 8.4 \text{ m}$  ölçülerindeki binanın yapı kabuğunun bileşenleri katmanları Tablo 1 de verilmiştir. TS 825 de, dört iklim bölgesine temsilen seçilen ve elektrik tüketiminin yüksek olduğu şehirler için tavsiye edilen yapı kabuğu ısı geçirgenlik katsayılarına göre yapı kabuğu bileşenlerinin yalıtım kalınlıkları Tablo 2’de gösterilmiştir. Çalışmada, ısınma amaçlı kullanılan elektriği üreten güç santrallerinde kömür ve doğal gaz bağlı atmosfere salınan  $\text{CO}_2$  ve  $\text{NO}_x$  emisyonları verilmiştir. Tablo 3’te elektrik üreten güç santrallerin de farklı yakıtlara bağlı atmosfere salınan emisyonlar gösterilmiştir. Tablo ise 4’te ise farklı yakıtlar, ıskonto oranı, yıla bağlı emisyonların sosyal maliyet değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Örnek alınan binanın yapı kabuğu bileşenleri [37,38]

Yapı Bileşeni	Elemanlar (Katmanlar)	Kalınlık (m)	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
Dış Duvar	Çimento harçlı şap	0.030	1.400
	Ekstrüde Polistiren Yalıtım	x	0.031
	Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar	0.190	0.330
	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.020	0.700
Kolon	Çimento harçlı şap	0.030	1.400
	Ekstrüde Polistiren Yalıtım	x	0.031
	Donatılı Beton	0.250	2.500
	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.020	0.700
Tavan	Cam Yünü Yalıtım	x	0.040
	Yalnız genişletilmiş perlit kullanılarak ve kuvarz	0.050	0.350
	Gözenekli hafif agregalar kullanılarak kuvarz	0.250	0.460
	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.020	0.700
Taban	Sentetik malzemeden kaplamalar	0.010	0.230
	Çimento harçlı şap	0.030	1.400
	Taş Yünü Yalıtım	x	0.040
	Yalnız genişletilmiş perlit kullanılarak ve kuvarz	0.070	0.350
	Gözenekli hafif agregalar kullanılarak kuvarz	0.250	0.460
	Alçı harcı, kireçli alçı harcı	0.020	0.700
Dış Kapı			4 W/m <sup>2</sup> .K

Tablo 2. Dört iklim bölgesini temsilen seçilen şehirlerin yapı kabuğunun farklı yalıtım malzemelerine bağlı yalıtım kalınlıkları [37,38]

Bölge	Yapı Elemanı	Yalıtım Malzemesi	Yalıtım Kalınlığı (m)
1.Bölge (İzmir)	Dış Duvar	Ekstrüde Polistiren	0.060
2.Bölge (Manisa)			0.080
3.Bölge (Afyon)			0.095
4.Bölge (Kastamonu)			0.110
1.Bölge (İzmir)	Kolon-Kiriş	Ekstrüde Polistiren	0.075
2.Bölge (Manisa)			0.095
3.Bölge (Afyon)			0.110
4.Bölge (Kastamonu)			0.120
1.Bölge (İzmir)	Tavan	Cam Yünü	0.110
2.Bölge (Manisa)			0.150
3.Bölge (Afyon)			0.170
4.Bölge (Kastamonu)			0.200
1.Bölge (İzmir)	Taban/Döşeme	Taş Yünü	0.100
2.Bölge (Manisa)			0.140
3.Bölge (Afyon)			0.160
4.Bölge (Kastamonu)			0.190

Tablo 3. Elektrik üreten güç santrallerinde farklı yakıtlara bağlı atmosfere salınan emisyonlar [11,36,39,40].

Emisyon (kg/kWh)	Yakıt	
	Kömür	Doğal Gaz
CO <sub>2</sub>	0.7341	0.3561
NO <sub>x</sub>	0.0001825	0.0002547

Tablo 4. Farklı yakıtlar, iskonto oranı, öngörülen yıllara bağlı emisyonların sosyal maliyet değerleri (\$) [2,36,39,40]

Emisyon	2030			2040			2050		
	Iskonto Oranı			Iskonto Oranı			Iskonto Oranı		
	% 5	% 3	% 2.5	% 5	% 3	% 2.5	% 5	% 3	% 2.5
CO <sub>2</sub>	19	60	88	25	72	101	31	83	114
NO <sub>x</sub>	7558	22794	32392	10078	27598	38390	13197	32392	44389

\*Emisyonların sosyal maliyetleri 2017 yılı \$ fiyatlarına göre yapılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada, ısıtma enerji ihtiyacı hesaplanırken en yüksek 84745 kWh ile dördüncü İklim bölgesindeki Kastamonu ilinde tek camlı pencere için ve en düşük 14581 kWh ile birinci iklim bölgesindeki İzmir ilinde ve yalıtım camında hesaplanmıştır. En yüksek ısıtma enerjisi gereksinimi dördüncü iklim bölgesindeki Kastamonu ilinde en düşük ise birinci iklim bölgesindeki İzmir ilinde tespit edilmiştir. Dört farklı cam türü içinde en yüksek enerji tüketimine tek camlı pencerelere sahip binalarda en düşük ise yalıtım camlı pencerelere sahip binalarda olduğu görülmektedir. Bu ve diğer değerler Tablo 5'te verilmiştir. Elektrik üreten santrallerin de atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonu, kömür kullanımında 0.7341 kg/kWh iken, doğal gaz kullanımında ise 0.3561 kg/kWh dır. Kömür kullanımında CO<sub>2</sub> emisyonunda iki katından daha fazla fark bulunmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonunda ise, kömür kullanımında 0.0001825 kg/kWh iken, doğal gaz kullanımında ise 0.0002547 kg/kWh dır. Doğal gaz kullanımında NO<sub>x</sub> emisyonu kömürün tam tersi olarak daha fazladır. Emisyonların sosyal maliyetlerinin değeri, ileriye yönelik yıllar ve iskonto oranları artması ile artmaktadır. CO<sub>2</sub> emisyonu sosyal maliyeti NO<sub>x</sub> emisyonunun sosyal maliyetine göre çok düşüktür. Buna karşın, CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı ise NO<sub>x</sub> emisyonu miktarından çok daha fazladır. Tüm bu nedenler dikkate alındığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

Kömür kullanarak elektrik üreten santrallerin de atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyetinde; 2030 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 1182 ve en düşük 203.4 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 3732.7 ve % 2.5 iskonto oranında en düşük 642.2 \$; en yüksek 5474.6 ve en düşük 941.9 \$; 2040 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 1555.3 ve en düşük 267.6 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 4479.2 ve en düşük 770.7 \$; en yüksek 6283.3 ve en düşük 1081.1 \$; 2050 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 1928.6 ve en düşük 331.8 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 5163.5 ve en düşük 888.4 \$; % 2.5 iskonto oranında en yüksek 7092.1 ve en düşük 1220.2 \$ hesaplanmıştır. Bu ve diğer değerler Tablo 6'da gösterilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyetinde ise; 2030 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 116.9 ve en düşük 20.1 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 352.5 ve en düşük 60.7 \$; %2.5 iskonto oranında en yüksek 501.0 ve en düşük 86.2 \$; 2040 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 155.9 ve en düşük 26.8 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 426.8 ve en düşük 73.4 \$; %2.5 iskonto oranında en yüksek 593.7 ve % 2.5 iskonto oranında en düşük 102.2 \$; 2050 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 204.1 ve en düşük 35.1 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 501.0 ve en düşük 86.2; % 2.5 iskonto oranında en yüksek 686.5 ve en düşük 118.1 \$ bulunmuştur. Bu ve diğer değerler Tablo 7'de verilmiştir.

Doğal gaz kullanarak elektrik üreten santrallerin de atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyetinde; 2030 yılı için %5 iskonto oranında, en yüksek 573.2 ve en düşük 98.7 \$; %3 iskonto oranında, en yüksek 1810.7 ve en düşük 311.5 \$; en yüksek 2655.6 ve en düşük 456.9 \$; 2040



yılı için %5 ıskonto oranında, en yüksek 754.4 ve en düşük 129.8 \$; % 3 ıskonto oranında, en yüksek 2172.8 ve en düşük 373.8 \$; % 2.5 ıskonto oranında en yüksek 3047.9 ve en düşük 524.4 \$; 2050 yılı için % 5 ıskonto oranında, en yüksek 935.5 ve en düşük 161.0 \$; % 3 ıskonto oranında, en yüksek 2504.7 ve en düşük 431.0 \$; % 2.5 ıskonto oranında en yüksek 3440.3 ve en düşük 591.9 \$ hesaplanmıştır. Bu ve diğer değerler Tablo 8’de gösterilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyetinde ise; 2030 yılı için %5 ıskonto oranında, en yüksek 163.1 ve en düşük 28.1 \$; % 3 ıskonto oranında, en yüksek 492.0 ve en düşük 84.7 \$; % 2.5 ıskonto oranında en yüksek 699.2 ve en düşük 120.3 \$; 2040 yılı için %5 ıskonto oranında, en yüksek 217.5 ve en düşük 37.4 \$; % 3 ıskonto oranında, en yüksek 595.7 ve en düşük 102.5 \$; %2.5 ıskonto oranında en yüksek 828.6 ve en düşük 142.6 \$; 2050 yılı için % 5 ıskonto oranında, en yüksek 284.9 ve en düşük 49.0 \$; % 3 ıskonto oranında, en yüksek 699.2 ve en düşük 120.3; % 2.5 ıskonto oranında en yüksek 958.1 ve en düşük 164.9 \$ bulunmuştur. Bu ve diğer değerler Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 5. Seçilen farklı şehirler için ısıtma enerjisi ihtiyacı ve emisyonlar

Şehir	Cam Türü	Isıtma İhtiyacı (kWh)	Emisyonlar (ton)			
			Kömür		Doğal gaz	
			CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
İzmir	Tek Cam	24631	18.082	0.0045	8.771	0.0063
	Çift cam	15746	11.559	0.0029	5.607	0.0040
	Yalıtım camı	14581	10.704	0.0027	5.192	0.0037
	Üçlü cam	15078	11.069	0.0028	5.369	0.0038
Manisa	Tek Cam	47017	34.515	0.0086	16.743	0.0120
	Çift cam	30222	22.186	0.0055	10.762	0.0077
	Yalıtım camı	28072	20.608	0.0051	9.996	0.0071
	Üçlü cam	28543	20.953	0.0052	10.164	0.0073
Afyon	Tek Cam	64341	47.233	0.0117	22.912	0.0164
	Çift cam	41289	30.310	0.0075	14.703	0.0105
	Yalıtım camı	38427	28.209	0.0070	13.684	0.0098
	Üçlü cam	38970	28.608	0.0071	13.877	0.0099
Kastamonu	Tek Cam	84745	62.211	0.0155	30.178	0.0216
	Çift cam	54526	40.028	0.0100	19.417	0.0139
	Yalıtım camı	50809	37.299	0.0093	18.093	0.0129
	Üçlü cam	51041	37.469	0.0093	18.176	0.0130

Tablo 6. Yakıt olarak kömür ve emisyon olarak CO<sub>2</sub> için farklı iskonto oranlarına bağlı sosyal emisyon maliyeti değerleri (\$)

Şehir	Cam Türü	2030			2040			2050		
		İskonto Oranı			İskonto Oranı			İskonto Oranı		
		%5	%3	%2.50	%5	%3	%2.50	%5	%3	%2.50
İzmir	Tek Cam	343.6	1084.9	1591.2	452.0	1301.9	1826.2	560.5	1500.8	2061.3
	Çift cam	219.6	693.5	1017.2	289.0	832.3	1167.5	358.3	959.4	1317.7
	Yalıtım camı	203.4	642.2	941.9	267.6	770.7	1081.1	331.8	888.4	1220.2
	Üçlü cam	210.3	664.1	974.1	276.7	797.0	1117.9	343.1	918.7	1261.8
Manisa	Tek Cam	655.8	2070.9	3037.3	862.9	2485.1	3486.0	1070.0	2864.8	3934.7
	Çift cam	421.5	1331.2	1952.4	554.6	1597.4	2240.8	687.8	1841.4	2529.2
	Yalıtım camı	391.5	1236.5	1813.5	515.2	1483.8	2081.4	638.8	1710.4	2349.3
	Üçlü cam	398.1	1257.2	1843.9	523.8	1508.6	2116.3	649.6	1739.1	2388.7
Afyon	Tek Cam	897.4	2834.0	4156.5	1180.8	3400.8	4770.5	1464.2	3920.3	5384.5
	Çift cam	575.9	1818.6	2667.3	757.8	2182.3	3061.3	939.6	2515.8	3455.4
	Yalıtım camı	536.0	1692.6	2482.4	705.2	2031.1	2849.1	874.5	2341.4	3215.9
	Üçlü cam	543.5	1716.5	2517.5	715.2	2059.8	2889.4	886.8	2374.5	3261.3
Kastamonu	Tek Cam	1182.0	3732.7	5474.6	1555.3	4479.2	6283.3	1928.6	5163.5	7092.1
	Çift cam	760.5	2401.7	3522.4	1000.7	2882.0	4042.8	1240.9	3322.3	4563.1
	Yalıtım camı	708.7	2237.9	3282.3	932.5	2685.5	3767.2	1156.3	3095.8	4252.1
	Üçlü cam	711.9	2248.2	3297.3	936.7	2697.8	3784.4	1161.5	3109.9	4271.5

Tablo 7. Yakıt olarak kömür ve emisyon olarak NO<sub>x</sub> için farklı iskonto oranlarına bağlı sosyal emisyon maliyeti değerleri (\$)

Şehirler	Cam Türü	2030			2040			2050		
		0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025
		Iskonto Oranı			Iskonto Oranı			Iskonto Oranı		
İzmir	Tek Cam	34.0	102.5	145.6	45.3	124.1	172.6	59.3	145.6	199.5
	Çift cam	21.7	65.5	93.1	29.0	79.3	110.3	37.9	93.1	127.6
	Yalıtım camı	20.1	60.7	86.2	26.8	73.4	102.2	35.1	86.2	118.1
	Üçlü cam	20.8	62.7	89.1	27.7	75.9	105.6	36.3	89.1	122.1
Manisa	Tek Cam	64.9	195.6	277.9	86.5	236.8	329.4	113.2	277.9	380.9
	Çift cam	41.7	125.7	178.7	55.6	152.2	211.7	72.8	178.7	244.8
	Yalıtım camı	38.7	116.8	165.9	51.6	141.4	196.7	67.6	165.9	227.4
	Üçlü cam	39.4	118.7	168.7	52.5	143.8	200.0	68.7	168.7	231.2
Afyon	Tek Cam	88.7	267.7	380.4	118.3	324.1	450.8	155.0	380.4	521.2
	Çift cam	57.0	171.8	244.1	75.9	208.0	289.3	99.4	244.1	334.5
	Yalıtım camı	53.0	159.9	227.2	70.7	193.5	269.2	92.5	227.2	311.3
	Üçlü cam	53.8	162.1	230.4	71.7	196.3	273.0	93.9	230.4	315.7
Kastamonu	Tek Cam	116.9	352.5	501.0	155.9	426.8	593.7	204.1	501.0	686.5
	Çift cam	75.2	226.8	322.3	100.3	274.6	382.0	131.3	322.3	441.7
	Yalıtım camı	70.1	211.4	300.4	93.4	255.9	356.0	122.4	300.4	411.6
	Üçlü cam	70.4	212.3	301.7	93.9	257.1	357.6	122.9	301.7	413.5

Tablo 8. Yakıt olarak doğal gaz ve emisyon olarak CO<sub>2</sub> için farklı iskonto oranlarına bağlı sosyal emisyon maliyeti değerleri (\$)

Şehirler	Cam Türü	2030			2040			2050		
		0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025
		İskonto Oranı			İskonto Oranı			İskonto Oranı		
İzmir	Tek Cam	166.7	526.3	771.9	219.3	631.5	885.9	271.9	728.0	999.9
	Çift cam	106.5	336.4	493.4	140.2	403.7	566.3	173.8	465.4	639.2
	Yalıtım camı	98.7	311.5	456.9	129.8	373.8	524.4	161.0	431.0	591.9
	Üçlü cam	102.0	322.2	472.5	134.2	386.6	542.3	166.4	445.6	612.1
Manisa	Tek Cam	318.1	1004.6	1473.4	418.6	1205.5	1691.0	519.0	1389.6	1908.7
	Çift cam	204.5	645.7	947.1	269.1	774.9	1087.0	333.6	893.3	1226.9
	Yalıtım camı	189.9	599.8	879.7	249.9	719.7	1009.6	309.9	829.7	1139.6
	Üçlü cam	193.1	609.8	894.4	254.1	731.8	1026.6	315.1	843.6	1158.7
Afyon	Tek Cam	435.3	1374.7	2016.2	572.8	1649.7	2314.1	710.3	1901.7	2611.9
	Çift cam	279.4	882.2	1293.9	367.6	1058.6	1485.0	455.8	1220.4	1676.1
	Yalıtım camı	260.0	821.0	1204.2	342.1	985.2	1382.1	424.2	1135.8	1560.0
	Üçlü cam	263.7	832.6	1221.2	346.9	999.2	1401.6	430.2	1151.8	1582.0
Kastamonu	Tek Cam	573.4	1810.7	2655.6	754.4	2172.8	3047.9	935.5	2504.7	3440.3
	Çift cam	368.9	1165.0	1708.7	485.4	1398.0	1961.1	601.9	1611.6	2213.5
	Yalıtım camı	343.8	1085.6	1592.2	452.3	1302.7	1827.4	560.9	1501.7	2062.6
	Üçlü cam	345.3	1090.5	1599.5	454.4	1308.7	1835.7	563.4	1508.6	2072.0

Tablo 9. Yakıt olarak doğal gaz ve emisyon olarak NO<sub>x</sub> için farklı ıskonto oranlarına bağlı sosyal emisyon maliyeti değerleri (\$)

Şehirler	Cam Türü	2030			2040			2050		
		0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025	0.05	0.03	0.025
		Iskonto Oranı			Iskonto Oranı			Iskonto Oranı		
İzmir	Tek Cam	47.4	143.0	203.2	63.2	173.1	240.8	82.8	203.2	278.5
	Çift cam	30.3	91.4	129.9	40.4	110.7	154.0	52.9	129.9	178.0
	Yalıtım camı	28.1	84.7	120.3	37.4	102.5	142.6	49.0	120.3	164.9
	Üçlü cam	29.0	87.5	124.4	38.7	106.0	147.4	50.7	124.4	170.5
Manisa	Tek Cam	90.5	273.0	387.9	120.7	330.5	459.7	158.0	387.9	531.6
	Çift cam	58.2	175.5	249.3	77.6	212.4	295.5	101.6	249.3	341.7
	Yalıtım camı	54.0	163.0	231.6	72.1	197.3	274.5	94.4	231.6	317.4
	Üçlü cam	54.9	165.7	235.5	73.3	200.6	279.1	95.9	235.5	322.7
Afyon	Tek Cam	123.9	373.5	530.8	165.2	452.3	629.1	216.3	530.8	727.4
	Çift cam	79.5	239.7	340.6	106.0	290.2	403.7	138.8	340.6	466.8
	Yalıtım camı	74.0	223.1	317.0	98.6	270.1	375.7	129.2	317.0	434.5
	Üçlü cam	75.0	226.2	321.5	100.0	273.9	381.0	131.0	321.5	440.6
Kastamonu	Tek Cam	163.1	492.0	699.2	217.5	595.7	828.6	284.9	699.2	958.1
	Çift cam	105.0	316.6	449.9	140.0	383.3	533.2	183.3	449.9	616.5
	Yalıtım camı	97.8	295.0	419.2	130.4	357.1	496.8	170.8	419.2	574.4
	Üçlü cam	98.3	296.3	421.1	131.0	358.8	499.1	171.6	421.1	577.1



#### 4. SONUÇ

Çalışmada, yapılan tüm hesaplamalar ve incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek elektrik enerjisi tüketimi ve buna bağlı emisyon miktarı tek camlı pencerelere sahip binalarda meydana gelirken en düşük ise yalıtım camlı pencerelere sahip binalarda görülmektedir. İklim bölgesi en sıcak olan birimci iklim bölgesinden en soğuk olan dördüncü iklim bölgesine doğru gidildikçe ısıtma amaçlı elektrik tüketimi önemli ölçüde artmaktadır.

Hem kömür hem de doğal gaz kullanarak elektrik üreten güç santrallerinde CO<sub>2</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyeti; NO<sub>x</sub> emisyonunun sosyal emisyon maliyetinden çok daha fazladır. Ön görüşü yapılan yıllar 2030'dan 2050 doğru ilerledikçe her iki emisyon için sosyal emisyon maliyet değerleri de artmaktadır. İskonto oranları artması ile her iki emisyon için sosyal emisyon maliyet değerleri de artmaktadır.

Elektrik üretimi sırasında kömür kullanan güç santrallerinde, CO<sub>2</sub> emisyonu için sosyal emisyon maliyeti en yüksek 2050 yılı ve % 2.5 iskonto oranında, dördüncü iklim bölgesindeki Kastamonu ilinde ve tek camlı pencerelere sahip binalarda 7092.089 \$ ve en düşük ise birinci iklim bölgesindeki İzmir ilinde yalıtım camlı pencerelere sahip binalarda, 2030 yılı ve % 5 iskonto oranında 203.4 \$ olarak hesaplanmıştır. NO<sub>x</sub> için sosyal emisyon maliyeti aynı özelliklerde 686.5 \$ ve en düşük ise aynı özelliklerde, 20.1 \$ olarak tespit edilmiştir.

Elektrik üretimi sırasında doğal gaz kullanan güç santrallerinde, CO<sub>2</sub> emisyonu için sosyal emisyon maliyeti en yüksek 2050 yılı ve % 2.5 iskonto oranında, dördüncü iklim bölgesindeki Kastamonu ilinde ve tek camlı pencerelere sahip binalarda 34403 \$ ve en düşük ise birinci iklim bölgesindeki İzmir ilinde yalıtım camlı pencerelere sahip binalarda, 2030 yılı ve % 5 iskonto oranında 98.7 \$ olarak bulunmuştur. NO<sub>x</sub> için sosyal emisyon maliyeti aynı özelliklerde 958.1 \$ ve en düşük ise aynı özelliklerde, 28.1 \$ olarak tespit edilmiştir.

Binalarda tek camlı pencerelerin kullanılması çalışmada da görüleceği gibi ısıtma amaçlı elektrik enerjisi tüketimini çok yüksek miktarda arttırmaktadır. Tek camlı pencerelerin kullanılması ile binalardan dış ortama olan ısı kaybı çok yüksek miktarda meydana gelmektedir. Bu da ısınma amaçlı elektrik tüketimini, güç santrallerindeki elektrik üretimindeki CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları, buna bağlı olarak sosyal karbon maliyetini (SCC) arttırmaktadır. Elektrik enerjisi tüketim, emisyon değerleri ve sosyal emisyon maliyetlerinde; tek camlı pencerelere sahip binalar ile yalıtım camlı pencerelere sahip binalar arasında %93 oranına varan farklar olduğu çalışma sonucu görülmüştür.

Güç santrallerinde elektrik üretimi sırasında kömür kullanımı doğal gaz kullanımına göre % 48.5 oranında daha yüksek miktarda atmosfere CO<sub>2</sub> emisyonu salınımı yapmaktadır. Buna karşılık, NO<sub>x</sub> emisyonu % 39.5 oranında daha düşük miktarda atmosfere salınım yapmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, elektrik üreten güç santrallerinden salınan farklı emisyonların miktarları ve bu emisyonlar için sosyal emisyon maliyetleri araştırılacaktır. Bu konuda ülkemizin Avrupa ülkelerindeki yeri incelenecektir.

#### REFERANSLAR

- [1] Mirici, M. E., Berberoğlu, S., Gültekin, E., Küresel Bir Çıkamaz Olarak Karbon Emisyonları ve Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC), ISUEP2018 Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 28-30 Haziran 2018, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- [2] Paul, I., Howard, P., Schwartz, J. A., The Social Cost of Greenhouse Gases and State Policy, The Institute for Policy Integrity (Policy Integrity) at New York University School of Law, November 1, 2017, USA.
- [3] Tunahan, H., (2010). "Küresel İklim Değişikliğini Azaltmanın Bir Yolu Olarak Karbon Finansmanı", Muhasebe ve Finansman Dergisi, 46, 199-215.

- [4] Mirici, M. E., Berberoğlu, S., İklim Değişimi Çerçevesinde Karbon Ekonomisi, Karbonun Sosyal Maliyeti (SCC) ve RICE Modeli, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK'2017, 5-7 Temmuz 2017, İstanbul, Türkiye.
- [5] Shirizadeh, B., Quirion, P., (2022). "The importance of renewable gas in achieving carbon-neutrality: Insights from an energy system optimization model", *Energy*, 255, 124503. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124503>
- [6] Khanna, M., Chen, X., Wang, W., Oliver, A., (2022) "Repeal of The Clean Power Plan: Social cost and Distributional Implications", *The American Journal of Agricultural Economics*, 104, 1, 33–51.
- [7] Kon, O., Caner, İ., An Investigation of the greenhouse gas emissions in european countries buildings according to the Life-Cycle, 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech) 23-26.09.2020, Island of Brac, Croatia. <https://doi: 10.23919/splitech49282.2020.9243747>
- [8] Kon, O., Caner, İ., Investigation the Effects of reducing heat transfer coefficients of building envelope on global warming in Turkey, 10th International 100% Renewable Energy Conference, 4-6.06.2020, İstanbul, Türkiye
- [9] Mirici, M. E., Küresel İklim Değişikliği Çerçevesinde Doğu Akdeniz Bölgesi Ekosistem Hizmetlerinin Karbon Temelli Modellenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2017, Adana, Türkiye
- [10] Kon, O., Caner, İ., (2022). "Investigation of electricity produced in power plants and used for cooling buildings with a life cycle approach of carbon capture and storage technology", *Journal of New Results in Science* 11,1, 77-90. <https://doi.org/10.54187/jnrs.1096681>
- [11] deLlano-Paz, F., Calvo-Silvosa, A., Antelo, S. I., Soares, I., (2018). "Power generation and pollutant emissions in the European Union: A mean-variance model", *Journal of Cleaner Production*, 181, 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.108>
- [12] Kon, O., Caner, İ., (2021) "Calculation of energy consumption and emissions of buildings in capitals of european with the degree-day method", *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 6, 4, 143–155. <https://doi.org/10.14744/jscmt.2021.03>
- [13] Ghaith, A. F., Epplin, F. M. (2017). "Consequences of a carbon tax on household electricity use and cost, carbon emissions, and economics of household solar and wind", *Energy Economics*, 67, 159-168. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.08.012>
- [14] Stern, N., Stiglitz J. E., *The Social Cost of Carbon, Risk, Distribution, Market Failures: An Alternative Approach*, Working Paper 28472, National Bureau of Economic Research, February 2021.
- [15] Tol, R. S. J., (2008). *The Social Cost of Carbon: Trends, Outliers and Catastrophes*". *Economics*, 2, 2008-25. <http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2008-25>
- [16] Ackerman, F., Stanton, E. A., (2012). "Climate Risks and Carbon Prices: Revising the Social Cost of Carbon", *Economics*, 6, 2012-10. <http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2012-10>
- [17] Nordhaus, W., (2014) "Estimates of the Social Cost of Carbon: Concepts and Results from the DICE-2013R Model and Alternative Approaches", *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, JAERE, 1, 1/2. <http://dx.doi.org/10.1086/676035>
- [18] Tol, R. S.J., (2011). "The Social Cost of Carbon", *Annual Review of Resource Economics*, 3, 419-443. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-083110-120028>
- [19] Anthoff, D., Tol, R. S.J., (2011). *The Uncertainty about the Social Cost of Carbon: A Decomposition Analysis Using FUND*. Working Paper 404, August 2011.
- [20] Tseng, S. C., Hung, S. W., (2014). "A strategic decision-making model considering the social costs of carbon dioxide emissions for sustainable supply chain management", *Journal of Environmental Management*, 133, 315-322. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.023>

- [21] Mier, M., Adelowo, J., Weissbart, C. (2021). "Taxation of carbon emissions and air pollution in intertemporal optimization frameworks with social and private discount rates", Working Paper 360, ifo Institute - Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich.
- [22] Anthoff, D., Tol, R. S. J., Yohe, G. W., (2009). "Risk aversion, time preference, and the social cost of carbon", *Environmental Research Letters*, 4, 024002. <http://doi:10.1088/1748-9326/4/2/024002>
- [23] Hope, C., (2008). "Optimal carbon emissions and the social cost of carbon over time under uncertainty", *The Integrated Assessment Journal*, 8, 1, 107–122.
- [24] Dedoussi I. C., Allroggen F., Flanagan R., Hansen T., Taylor B., Barrett S. R. H., Boyce J. K., (2019). "The co-pollutant cost of carbon emissions: an analysis of the US electric power generation sector", *Environmental Research Letters*, 14, 094003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab34e3>
- [25] Mikhailova, E. A., Post, C. J., Schlautman, M. A., Post, G. C., Zurqani, H. A., (2020). "Determining farm-scale site-specific monetary values of soil carbon hotspots based on avoided social costs of CO<sub>2</sub> emissions", *Cogent Environmental Science*, 6, 1817289.
- [26] Guo, J., Hepburn, C. J., Tol, R. S. J., Anthoff, D., (2006). "Discounting and the social cost of carbon: a closer look at uncertainty", *Environmental Science & Policy*, 9, 205 – 2166.
- [27] Johnson, L. T., Hope, C. (2012). The social cost of carbon in U.S. regulatory impact analyses: an introduction and critique. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 2, 205–221.
- [28] Mandell, S., (2010). Carbon Emission Values in Cost Benefit Analyses, Swedish National Road and Transport Research Institute.
- [29] Greenstone, M., Kopits E., Wolverton, A., (2013). "Developing a Social Cost of Carbon for US Regulatory Analysis: A Methodology and Interpretation." *Review of Environmental Economics and Policy*, 7, 1, 23–46. <http://dx.doi.org/10.1093/reep/res015>
- [30] Marten, A. L., Newbold, S. C. (2011). "Estimating the Social Cost of Non-CO<sub>2</sub> GHG Emissions: Methane and Nitrous Oxide", NCEE Working Paper Series, Working Paper 11-01.
- [31] Pearce, D., (2003). The Social Cost of Carbon and Its Policy Implications, *Oxford Review of Economic Policy*, 19, 3. <https://doi.org/10.1093/oxrep/19.3.362>
- [32] Paul, A., Beasley, B., Palmer, K. (2013). Taxing Electricity Sector Carbon Emissions at Social Cost, Discussion Paper, RFF DP 13-23-REV
- [33] Shindell, D. T., (2015). "The social cost of atmospheric release", *Climatic Change*, 130, 313–326. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1343-0>
- [34] Bergh, J. C. J. M. v. d., Botzen, W. J. W., (2014). "A lower bound to the social cost of CO<sub>2</sub> emissions", *Nature Climate Change*, 4, 253–258. <https://doi.org/10.1038/nclimate2135>
- [35] Nordhaus, W. D., (2017). "Revisiting the social cost of carbon", *Earth, Atmospheric, And Planetary Sciences*, 31, 114, 7, 1518-1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>
- [36] Wang, P., Deng, X., Zhou, d., Yu, S., (2019). "Estimates of the social cost of carbon: A review based on meta-analysis", *Journal of Cleaner Production*, 209, 1494-1507. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.058>
- [37] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standardı, Mayıs 2008.
- [38] TS 2164, Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları, Türk Standardı, Revize 2000.
- [39] Sproul, E., Barlow, J., Quinn J. C., (2019). "Time Value of Greenhouse Gas Emissions in Life Cycle Assessment and Techno-Economic Analysis", *Environmental Science and Technology*. 53, 6073–6080.
- [40] Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis, Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, United States Government, August 2016.