



# **Binaların Isıtılması ve Soğutulması için Kullanılan Toprak Hava Isı Değiştiricilerinin Farklı Derece-Gün Yaklaşımlarına Bağlı Yaşam Çevrimi Analizi ve Emisyon İncelemesi**

## **Life Cycle and Emissions Analysis Based on Different Degree-Day Approaches of Earth-Air Heat Exchangers Used for Heating and Cooling in Buildings**

**Okan Kon<sup>1,\*</sup> Samet Arda<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 10145, Balıkesir/TÜRKİYE

<sup>2</sup>Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, 10145, Balıkesir/TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [okan@balikesir.edu.tr](mailto:okan@balikesir.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 22.03.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 05.07.2022

DOI:10.21205/deufmd.2023257308

*Atıf şekli/ How to cite:* KON, O., ARDA, S. (2023). Binaların Isıtılması ve Soğutulması için Kullanılan Toprak Hava Isı Değiştiricilerinin Farklı Derece-Gün Yaklaşımlarına Bağlı Yaşam Çevrimi Analizi ve Emisyon İncelemesi. DEÜ FMD 25(73), 91-106.

### **Öz**

Çalışmada, binaların ısıtılması ve soğutulması için kullanılan toprak hava ısı değiştirgeci bağı olarak TS 825 in son iki versiyonu düşünülerek yaşam çevrimi analizine bağı hem enerji tasarrufu hem de enerji maliyeti tasarrufu incelenmiştir. Ek olarak enerji kaynağı olarak elektrik kullanımına bağı güç santrallerinden elektrik üretimi sırasında atmosfere yayılan emisyonların (kirleticilerin) miktarları incelenmiştir. Kullanılan elektrik enerjisi miktarı için ülkemizin yalıtım standardı TS 825 de tavsiye edilen dış duvar, tavan, döşeme ve pencereleri kapsayan yapı kabuğu ısı transfer katsayıları kullanılmıştır. TS 825 in 2013 versiyonu ve 2008 yılı versiyonu yapı kabuğu ısı transfer katsayıları kullanılarak enerji tasarruf miktarları tespit edilmiştir. Yapı kabuğu elemanlarına bağı enerji tüketimi hesaplamalarında derece gün yöntemi kullanılmıştır. Isıtma ve soğutma dönemlerinde binaların enerji tüketimi hesaplarında kullanılan ısıtma derece gün ve soğutma derece günler, dış ortam kuru termometre sıcaklığına, bağıl nem ile bulunan yaş termometre sıcaklığına ve güneş radyasyonu değeri ile bulunan güneş hava sıcaklığı bağı olarak hesaplanmıştır. Kirletici olarak, global ısınmayı etkileyen maddeler (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>), ozon tabakasını incelten madde (CFC-11), inorganik kirletici madde (SO<sub>2</sub>), havayı kirleten partikül madde (PM) incelenmiştir. TS 825 in 2008 yerine 2013 versiyonu kullanılması ile tüm derece gün yaklaşımları için dış duvarlara ve döşemeye bağı dört iklim bölgesinin tümü göz önüne alındığında % 4,9 kadar tasarruf sağlanmaktadır. Döşemeye bağı % 6,0 kadar tasarruf bulunmaktadır. Pencereye bağı enerji tüketimi ve emisyon değerlerine göre tasarruf tüm iklim bölgeleri için % 25 olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak hava ısı değiştirgeci, TS 825, Derece-gün, Güç santralleri, Kirleticiler

### **Abstract**

In this study, energy saving and energy cost saving based on the life cycle analysis were examined considering the last two versions of TS 825, depending on the earth-air heat exchanger used for

heating and cooling the buildings. In addition, the amounts of emissions (pollutants) emitted to the atmosphere as a result of the use of electricity as an energy source during electricity generation from power plants were investigated. For the amount of electrical energy used, the heat transfer coefficients of the building envelope covering the external wall, ceilings, floors, and windows, which are recommended in our country's insulation standard TS 825, were used. Energy-saving amounts were determined by using the building envelope heat transfer coefficients in the 2013 version and the 2008 version of TS 825. The degree-day method was used in the energy consumption calculations related to the building envelope elements. The heating degree days and cooling degree days used in the energy consumption calculations of the buildings during the heating and cooling periods were calculated depending on the outdoor dry bulb temperature, the wet bulb temperature found with the relative humidity, the solar radiation value and the solar air temperature found. As pollutants, substances affecting global warming (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>), ozone depleting substance (CFC-11), inorganic pollutant (SO<sub>2</sub>), air polluting particulate matter (PM) were examined. By using the 2013 version of TS 825 instead of 2008, savings of up to 4.9 % are achieved for all degree-day approaches, considering all four climate zones connected to external walls and flooring. There is a savings of up to 6.0 % due to flooring. According to the energy consumption and emission values related to the window, the savings have been determined as 25 % for all climate zones.

**Keywords:** Earth-air heat exchanger, TS 825, Degree-day, Power plants, Pollutants

## 1. Giriş

Binaların ısıtılması ve soğutulması için toprak önemli bir ısı enerjisi kaynağıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda özellikle ısı pompası uygulamaları için toprak, ısı kaynağı veya ısı kuyusu vazifesi görür. Toprakta, dış ortama göre çok daha az sıcaklık değişimleri ve dalgalanmaları meydana gelmektedir. Toprak aynı zamanda ısı kapasitesi oldukça yüksek olması sebebiyle binaların ısıtılması ve soğutulmasında kullanılabilir [1]. Toprağın belirli derinliklerine inildiğinde, kış aylarında toprağın sıcaklığı dış ortamın sıcaklığından daha yüksek iken yaz aylarında ise çok daha düşüktür. Bu durum binaların ısıtılması ve soğutulmasında toprak altına gömülmüş ve farklı malzemelerden yapılmış kanal veya borular kullanılarak dış ortam havası, bu kanal ve borulardan geçirilerek bir fan yardımı ile bina içine verilebilir. Böylece binaların kışın ısıtılması ve yazın soğutulması için kullanılabilir [2]. Isıtma ve soğutma derece gün kavramı, binalardaki hava ile ilgili enerji tüketimini, yani binanın elektrik enerjisi tüketimini tahmin etmek ve analiz etmek için bir araçtır. Bu yöntemin uygulanmasındaki temel sorun, gizli soğutma yüklerini göz ardı etmesidir. Derece gün yönteminin ana dezavantajı, daha yüksek dış ortam sıcaklıklarında daha önemli hale gelen gizli enerji yüklerinin etkisini ihmal etmesidir [3]. Sıcaklık ve nemin enerji tüketimi üzerindeki etkilerini birleştirerek yaş termometre sıcaklığına bağlı derece günlerin, kuru termometre sıcaklığına bağlı derece

günlere kıyasla enerjisi tüketimini tahmin etmek için çok daha verimli kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Yaş termometre sıcaklığına bağlı derece günlerin, farklı iklim bölgeleri için enerji tüketimini yansıtmaya uygundur [4].

Literatürde yapılan çalışmaları incelediğimizde, Sabapathy K. A. ve Gedupudi S. yaptıkları çalışmada, temsili bir yaz ve kış gününün 24 saati boyunca soğutma ve/veya ısıtma yükü analizi, Hindistan'ın beş iklim bölgesi için geçici sayısal analiz yoluyla gerçekleştirmişlerdir. Mevcut duvarlar/çatı üzerine sonradan uygulanan saman yalıtımı (dış veya iç veya her iki tarafa eşit olarak yerleştirilmiş) ile mümkün olan üç bina kabuğu konfigürasyonu karşılaştırılmıştır [5]. Carpio M. v.d. yaptıkları çalışmada, mevcut Şili termal bina yönetmeliklerinin bina kabukları için tavsiye edilen ısı transfer katsayılarını, ASHRAE ve UKMO yöntemleriyle hesaplanan ısıtma derece gün değerlerine göre değişimini incelemişlerdir. Şili deki 165 meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler kullanılmıştır [6]. Bulut H. v.d. yaptıkları çalışmada, Şanlıurfa ilinde kış aylarında toprak hava ısı değiştirgeci sistemi kurmuşlardır. Sistemin performansını ve çalışma sistemini deneysel olarak araştırmışlardır. Sistemde galvanizli çelik borular yerin 2 m derinliğine serpanti şeklinde yerleştirilmiştir. Galvanizli çelik borular 13 cm çapında ve 20 m uzunluğundadır. Toprak ısı değiştirgeci toprak ve dış hava sıcaklık farkı ortalama 5,8 °C olarak bulunmuştur. Sisteme

havanın girişi ve çıkışı arasında ortalama 4,8 °C fark tespit edilmiştir. Sistemin etkinliği 0,83 ve performans değeri (COP) 1,7-5,9 arasında değiştiği görülmüştür [1]. Krese G. v.d. yaptıkları çalışmada, soğutma derece günlerine dayalı olarak binalarda soğutma nedeniyle elektrik enerjisi tüketiminin incelenmesine yönelik bir yaklaşımı ele almaktadırlar. Soğutma derece gün değerleri bulunurken sıcaklık ve nem değerleri birlikte kullanılmıştır. Böylece entalpi değerlerine dayalı gizli ısı yükleri incelenmiştir [3]. Cao J. v. d. yaptıkları çalışmada, bir binadaki soğutma enerjisi tüketimi ile sıcaklık ve nemin ortak olasılığının birleşimine dayanan verimli bir iklim endeksi (yaş termometre sıcaklığına dayalı soğutma derece günler) önermişlerdir. Çin'de farklı iklim bölgelerine sahip 14 şehri için incelemeler yapılmıştır. Sonuçlar, kuru termometre sıcaklığına dayalı soğutma derece günlerin soğutma enerjisi tüketiminin sadece %17-60'ını açıklayabildiğini, yaş termometre sıcaklığına bağlı derece günler için ise farklı iklim bölgelerinde soğutma enerjisi tüketiminin %86-97'sini açıkladığını göstermiştir [4]. Taşdelen F. yaptığı çalışmada Elazığ'daki bir konutun, sürekli çalışma koşulları altında toprak hava ısı değiştiricisi kullanılarak termal konforunu sağlamak için pasif jeotermal soğutma teknolojisi incelenmiştir. Toprak hava ısı değiştiricisinin termal performansı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ANSYS Fluent 12.1 programı kullanılarak araştırılmıştır. Termal performansının analizi için Elazığ ilinin 2014 yılı Temmuz ayının maksimum ortalama sıcaklık değeri kullanılmıştır [7]. Peker B. yaptığı çalışmada, bir toprak hava ısı değiştiricisinin performansı ısıtma ve soğutma durumu için, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı ile analiz etmiştir. Ölçülen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [2]. Al-Ajmia F. v.d yaptıkları çalışmada, sıcak ve kurak bir iklimde çıkış hava sıcaklığını ve soğutma potansiyelini tahmin etmek için bir toprak hava ısı eşanjörünün teorik bir modeli geliştirmişlerdir. Tipik bir Kuveyt konutunu temsil eden bir bina modeli uygulanmıştır ve tüm modeller TRNSTS kullanılarak kodlanmıştır [8]. Shukla A. v.d. yaptıkları çalışmada, farklı iç ortam şartları için toprak hava ısı eşanjörü ve jeotermal ısıtma kombinasyonu birlikte kullanılarak seranın ısıtılması için bir termal model geliştirmişlerdir. Hesaplamalar Arjantin'in güney kesiminde tipik bir üretim

serası için yapılmıştır; mevcut iklim verileri kullanılmıştır. Toprak hava ısı değiştiricili bir seranın ısı performansı, jeotermal enerjili bir serayla karşılaştırılmıştır [9]. Belatrache D. yaptıkları çalışmada, Güney Cezayir'in iklim koşullarındaki binalar için bir iklimlendirme cihazı olarak kullanılan bir toprak hava ısı eşanjörünün modellenmesi ve simülasyonunu sunmuşlardır. Çalışmada, geliştirilen özel bir program kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Borunun uzunluğu, yarıçapı ve borudaki havanın hızı dikkate alınarak parametrik bir analiz yapılmıştır [10]. Bisoniya T. S. v.d. yaptıkları çalışmada, Bhopal'ın (Orta Hindistan) sıcak ve kuru iklim koşulları için toprak hava ısı eşanjörü sisteminin yıllık termal performansını incelemişlerdir. Toprak hava ısı eşanjörünün ısıtma/soğutma potansiyelini değerlendirmek için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine (CFD) dayalı yarı kararlı bir 3-D modeli geliştirmişlerdir [11]. Menhoudj S. v.d. yaptıkları çalışmada, Cezayir'deki Mağrip iklim bağlamındaki binalar için bir toprak hava ısı eşanjörünün enerji performansı incelemişlerdir. Cezayirdeki bir üniversite kampüsünde bulunan bir test yapısında oluşturulan iki bitişik odanın basit akım akışında havalandırma için incelemeler yapılmıştır. Ölçümler ağustos 2015'te yapılmış ve soğutma performansları değerlendirmiştir. Deneysel sonuçlar (TRNSYS 16) simülasyondan elde edilenlerle karşılaştırılmıştır [12].

Çalışmanın amacı, binaların ısıtılması ve soğutulması için kullanılan toprak hava ısı değiştiricisine bağlı olarak TS 825 in 2013 versiyonu ve 2008 yılı versiyonu yapı kabuğu ısı transfer katsayıları kullanılarak yaşam çevrimi analizine bağlı hem enerji tasarrufu hem de enerji maliyeti tasarrufunu incelemektir. Ek olarak enerji kaynağı olarak elektrik kullanımına bağlı kömür yakan güç santrallerinden elektrik üretimi sırasında atmosfere yayılan, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> gibi global ısınmayı etkileyen maddeler, CFC-11 gibi ozon tabakasını incelten madde, SO<sub>2</sub> gibi inorganik kirletici madde ve havayı kirleten partikül madde miktarları hesaplamaktır. Isıtma ve soğutma dönemlerinde binaların enerji tüketimi miktarı bulunurken, dış ortam kuru termometre sıcaklığına, bağıl nem ile bulunan yaş termometre sıcaklığına ve güneş radyasyonu değeri ile bulunan güneş hava sıcaklığı bağlı ısıtma derece gün ve soğutma derece günler kullanılmıştır. TS 825 için iklim bölgelerini

temsilen, birinci iklim bölgesinde İzmir, ikinci iklim bölgesinde Balıkesir, üçüncü iklim bölgesinde Burdur, dördüncü iklim bölgesinde Kastamonu ve beşinci iklim bölgesinde Erzurum seçilmiştir. Çalışma, toprak hava ısı değiştiricilerinin farklı derece-gün metodları kullanılarak binaların ısıtılması için gerekli enerji miktarını yaşam çevrimi analizi ile hesaplaması ve buna bağlı atmosfere salınan farklı emisyon türleri incelemesi açısından literatüre yeni bir katkı sağlayacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Derece-gün hesabı

Güneş hava sıcaklığı,

$$T_{gh} = T_0 + \frac{\alpha \cdot I_g}{h_b} - \frac{\sigma \varepsilon (T_0^4 - T_{gök}^4)}{h_b} \quad (1)$$

$$T_{gh} = T_0 + \frac{\alpha \cdot I_g}{h_b} \quad (2)$$

Dış ortam güneş hava sıcaklığı bulunurken, dış ortam kuru termometre sıcaklığına ek olarak, güneş radyasyonu ve yüzey absorbe özelliği dikkate alınmaktadır. Denklem (1) deki son ifade yatay yüzeyler için yaklaşık 4 °C alınırken, düşey yüzeyler için 0 °C alınmaktadır. Burada  $T_0$  dış ortam kuru termometre sıcaklığını,  $\alpha$  yüzey absorbe katsayısını (açık renkli yüzeyler olarak 0,25 alındı),  $h_b$  yüzeyi kaplayan dış ortamın ışınlam ve taşınım katsayılarının (25 W/m<sup>2</sup>. K alındı) bileşimidir. Denklem (1) deki son ifade ihmal edilerek denklem (2) elde edilmiştir [13,21,22].

Yaş termometre sıcaklığı,

$$T_{o,i,yts} = T_{o,i}(\Phi) \quad (3)$$

İle hesaplanır. Yaş termometre sıcaklığını bulurken iç ve dış ortam kuru termometre sıcaklığına ek olarak dış ve iç ortam bağıl nemi ( $\Phi$ ) dikkate alınmaktadır [3,4,5]. İç ortam sıcaklığı ısıtma döneminde 19 °C ve bağıl nemi % 65, yaz döneminde ise 22 °C ve % 60 kabul edilmiştir [13, 15, 21, 22]. Yaklaşık olarak yıldaki ayların 30 gün kabul edilerek derece-gün değerinin hesabı yapılmıştır. TS 825 için derece-gün hesabı;

$$\text{Eğer } T_0 \leq T_i \text{ IDG} = 30 \sum_1^{12} (T_i - T_0) \quad (4)$$

$$\text{Eğer } T_0 > T_i \text{ IDG} = 0 \quad (5)$$

$$\text{Eğer } T_0 > T_i \text{ SDG} = 30 \sum_1^{12} (T_0 - T_i) \quad (6)$$

$$\text{Eğer } T_0 \leq T_i \text{ SDG} = 0 \quad (7)$$

burada, IDG ısıtma dönemi derece gün değerini, SDG soğutma dönemi derece gün değerini göstermektedir.  $T_0$  dış ortam sıcaklığını ve  $T_i$  ise iç ortam sıcaklığını göstermektedir [14,15].

### 2.2. Yaşam Çevrimi Yaklaşımı ve Enerji Tasarrufu hesabı

Bina için yıllık birim alandaki ısıtma ve soğutma enerji yükleri [16,17];

$$E_H = \frac{0.024 \cdot U \cdot \text{IDG}}{\varepsilon} \quad (8)$$

$$E_C = \frac{0.024 \cdot U \cdot \text{SDG}}{\text{COP}} \quad (9)$$

Burada, U dış duvar, tavan, döşeme ve pencere gibi yapı kabuğun ısı transfer katsayısıdır (W/m<sup>2</sup>.K),  $\varepsilon$  toprak hava ısı değiştiricisinin ısıtma etkinlik katsayısı (0,80 alınmıştır), COP toprak hava ısı değiştiricisinin soğutma performans (3,5 alınmıştır) katsayısıdır [1].

$$Y\dot{C}T = C_e \left( \frac{(E_i(2008) - E_i(2013)) + (E_s(2008) - E_s(2013))}{(E_s(2008) - E_s(2013))} \right) BDF \quad (10)$$

$$ETM = C_e \left( \frac{(E_i(2008) - E_i(2013)) + (E_s(2008) - E_s(2013))}{(E_s(2008) - E_s(2013))} \right) \quad (11)$$

$$ET = \left( \frac{(E_i(2008) - E_i(2013)) + (E_s(2008) - E_s(2013))}{(E_s(2008) - E_s(2013))} \right) \quad (12)$$

Isıtma ve soğutma işlemini toprak ısı değiştiricisi ile yapan binalar için Enerji Tasarrufu Maliyeti (ETM), Enerji Tasarrufu (ET) ve Yaşam Çevrimi Maliyeti (YÇT) göstermektedir.  $C_e$  elektrik enerjisi kWh (0,121 \$/kWh alınmıştır) başına maliyettir [16-19];

Eğer  $f < e$  gerçek faiz oranı [20];

$$r = \frac{e-f}{1+f} \quad (13)$$

Eğer  $e < f$  gerçek faiz oranı;

$$r = \frac{f-e}{1+e} \quad (14)$$

bu değerlere bağlı olarak Bugünkü Değer Faktörü;

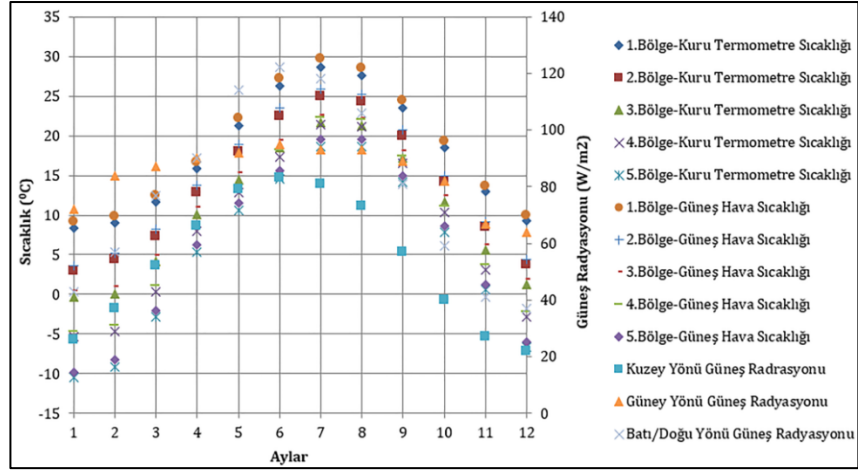
$$BDF = \frac{(1+r)^M - 1}{r(1+r)^M} \quad (15)$$

Burada (f) faiz oranını (% 23,9 alındı), (e) enflasyon oranını (% 20,3 alındı) ve M bina enerji tüketimi için ömrü göstermektedir (10 yıl alındı) [20].

standardında her iklim bölgesi için dış ortam aylık kuru termometre sıcaklığı, farklı yönlerdeki güneş radyasyonu değerleri ve bunlara bağlı hesaplanan güneş hava sıcaklıkları Şekil 1'de verilmiştir. Farklı iklim bölgelerini temsilen seçilen şehirler için dış ortam aylık bağıl nem ve buna bağlı hesaplanan yaş termometre sıcaklıkları Şekil 2'de gösterilmiştir. Kuru termometre sıcaklığına, yaş termometre sıcaklığına ve güneş hava sıcaklığına bağlı tespit edilen ısıtma ve soğutma derece günler Tablo 1'de verilmiştir. 2013 yılında yayınlanan ülkemizi beş iklim bölgesi olarak kabul eden yalıtım standardı TS 825 de her iklim bölgesi için tavsiye edilen yapı kabuğu ısı transfer katsayıları Tablo 2'de gösterilmiştir. 2008 yılında yayınlanan ülkemizi dört iklim bölgesi olarak kabul eden yalıtım standardının önceki hali için yapı kabuğu ısı transfer katsayıları Tablo 3'de anlatılmıştır. Binaların ısıtılması ve soğutması için kullanılan elektriği üreten güç santrallerindeki atmosfere yayılan emisyon Tablo 4'de verilmiştir.

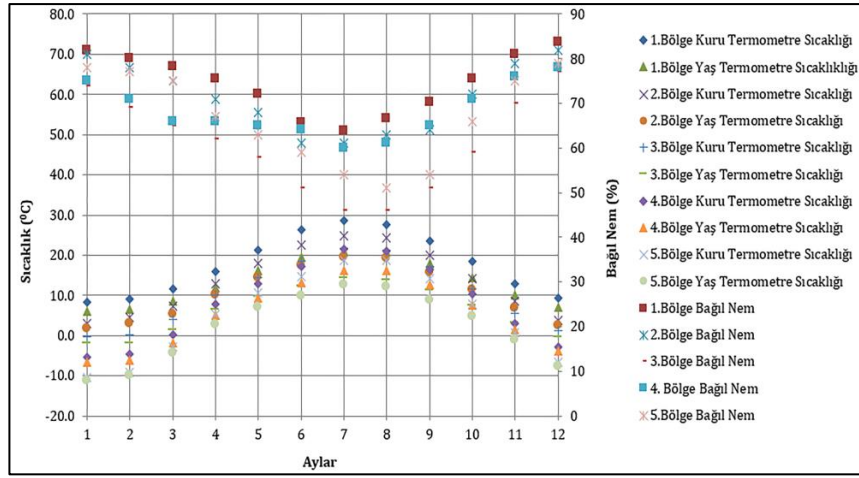
### 2.3. Hesaplamalarda kullanılan Değerler

Ülkemizin, hem 2008 yılında yayınlanan hem de 2013 yılında yayınlanan TS 825 yalıtım



**Şekil 1.** Farklı iklim bölgelerine, farklı yönlerdeki güneş radyasyonu ve kuru termometre sıcaklığına bağlı güneş hava sıcaklıkları [21,22]

**Figure 1.** Solar air temperatures in different climate zones depending on solar radiation in different directions and dry bulb temperature [21,22]



**Şekil 2.** Farklı iklim bölgelerine, dış ortam nemine ve kuru termometre sıcaklığına bağlı nemli hava sıcaklıkları [21,22]

**Figure 2.** Humid air temperatures in different climate zones depending on outdoor humidity and dry bulb temperature [21,22]

**Tablo 1.** Farklı sıcaklıklara bağlı ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri

**Table 1.** Heating and cooling degree-day values depending on different temperatures

| Bölge   | Kuru Termometre Sıcaklığına Bağlı Isıtma Derece Gün | Yaş Termometre Sıcaklığına Bağlı Isıtma Derece Gün | Güneş-Hava Termometre Sıcaklığına Bağlı Isıtma Derece Gün | Kuru Termometre Sıcaklığına Bağlı Soğutma Derece Gün | Yaş Termometre Sıcaklığına Bağlı Soğutma Derece Gün | Güneş-Hava Termometre Sıcaklığına Bağlı Soğutma Derece Gün |
|---------|---|--|---|--|---|--|
| 1.Bölge | 1430  | 1206   | 1275  | 555  | 176   | 672  |
| 2.Bölge | 2395  | 1946   | 2232  | 358  | 176   | 262  |
| 3.Bölge | 3248  | 3096   | 3013  | ---  | ---   | 24   |
| 4.Bölge | 4073  | 3585   | 3825  | ---  | ---   | 11   |
| 5.Bölge | 5051  | 4707   | 4778  | ---  | ---   | ---  |

**Tablo 2.** 2013 yılında yayınlanan TS 825 de bulunan yapı kabuğu bileşenlerinin tavsiye edilen ısı transferi değerleri [21]

**Table 2.** Recommended heat transfer values of building envelope components in TS 825 published in 2013 [21]

| Bölge   | Şehirler  | Dış Duvar | Tavan | Döşeme (Taban) | Pencere |
|---------|-----------|-----------|-------|----------------|---------|
| 1.Bölge | İzmir     | 0.66      | 0.43  | 0.66           | 1.8     |
| 2.Bölge | Balıkesir | 0.57      | 0.38  | 0.57           | 1.8     |
| 3.Bölge | Burdur    | 0.48      | 0.28  | 0.43           | 1.8     |
| 4.Bölge | Kastamonu | 0.38      | 0.23  | 0.38           | 1.8     |
| 5.Bölge | Erzurum   | 0.36      | 0.21  | 0.36           | 1.8     |

**Tablo 3.** 2008 Yılında yayınlanan TS 825 de bulunan yapı kabuğu bileşenlerinin tavsiye edilen ısı transferi değerleri [22]

**Table 3.** Recommended heat transfer values of building envelope components in TS 825 published in 2008 [22]

| Bölge   | Şehirler  | Dış Duvar | Tavan | Döşeme (Taban) | Pencere |
|---------|-----------|-----------|-------|----------------|---------|
| 1.Bölge | İzmir     | 0.70      | 0.45  | 0.70           | 2.4     |
| 2.Bölge | Balıkesir | 0.60      | 0.40  | 0.60           | 2.4     |
| 3.Bölge | Burdur    | 0.50      | 0.30  | 0.45           | 2.4     |
| 4.Bölge | Kastamonu | 0.40      | 0.25  | 0.40           | 2.4     |

**Tablo 4.** Elektrik üretimi için güç santrallerinden yayılan emisyonlar (kg/kWh) [23,24]

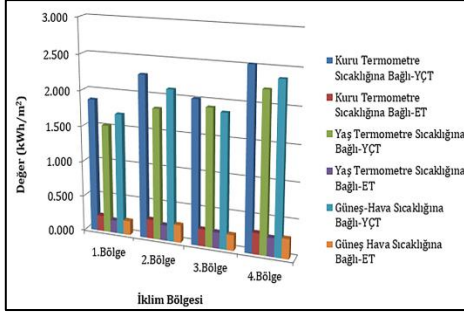
**Table 4.** Emissions released from power plants for electricity generation (kg/kWh) [23,24]

| Emisyon         | Miktar    | Emisyon          | Miktar   |
|-----------------|-----------|------------------|----------|
| CO <sub>2</sub> | 0.7341    | N <sub>2</sub> O | 112.317  |
| SO <sub>2</sub> | 0.0000735 | CH <sub>4</sub>  | 5.579    |
| PM              | 0.0000093 | CFC-11           | 1189.242 |

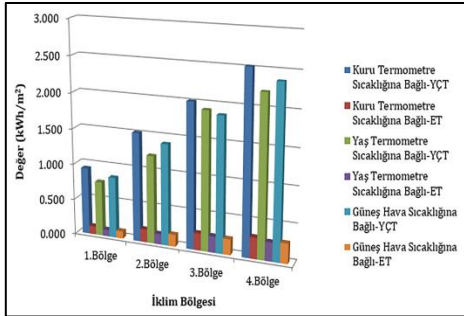
### 3. Bulgular

Ülkemizin yalıtım standardı TS 825 in 2008 yılı versiyonunda Türkiye dört farklı iklim bölgesi olarak kabul edilirken, 2013 versiyonunda Türkiye beş farklı iklim bölgesi kabul edilmiştir. Bu nedenle Şekil 3'de yaşam çevrimi maliyet tasarrufu ve enerji tüketimi tasarrufu dört iklim bölgesi için gösterilmiştir. Dış duvar için yaşam çevrimi maliyet tasarrufu; en yüksek kuru termometre sıcaklığına bağlı 4. iklim bölgesinde 2,522 \$/m<sup>2</sup> ve en düşük yaş termometre sıcaklığına bağlı 1. iklim bölgesinde 1,525 \$/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Pencere için aynı derece-gün ve iklim bölgelerine bağlı olarak en yüksek 75,670 \$/m<sup>2</sup> ve en düşük 22,881 \$/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. Dış duvar için enerji maliyet tasarrufu; en yüksek kuru termometre sıcaklığına bağlı 4.iklim bölgesinde 0,296 \$/m<sup>2</sup> ve en düşük yaş termometre sıcaklığına bağlı 1. iklim bölgesinde 0,179 \$/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Pencere için aynı derece-gün ve iklim bölgelerine bağlı olarak en yüksek 8,871 \$/m<sup>2</sup> ve en düşük 2,682 \$/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. Bunlar ve diğer değerler, Şekil 3'de verilmiştir. Dış duvara bağlı en yüksek emisyon tasarrufu değeri, 2906,270 kg/m<sup>2</sup> ile CFC-11 de kuru termometre sıcaklığına bağlı 4. bölgede ve 0,000014 kg/m<sup>2</sup> yaş termometre sıcaklığına bağlı 1. bölgede PM hesaplanmıştır Bu emisyon tasarrufu değeri ve diğerleri Tablo 6'de

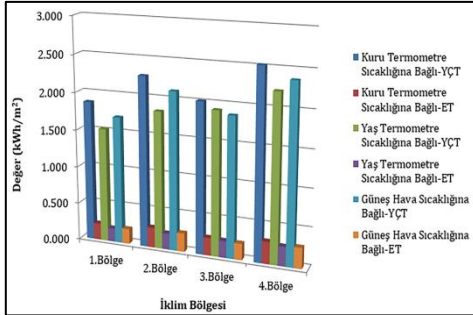
verilmiştir. Tavana bağlı en yüksek emisyon tasarrufu değeri, 2906,270 kg/m<sup>2</sup> ile CFC-11 de kuru termometre sıcaklığına bağlı 4. bölgede ve 0,0000069 kg/m<sup>2</sup> yaş termometre sıcaklığına bağlı 1. bölgede PM hesaplanmıştır. Bu emisyon tasarrufu değeri ve diğerleri Tablo 7'de gösterilmiştir. Döşemeye bağlı en yüksek emisyon tasarrufu değeri, 2906,270 kg/m<sup>2</sup> ile CFC-11 de kuru termometre sıcaklığına bağlı 4. bölgede ve 0,000014 kg/m<sup>2</sup> yaş termometre sıcaklığına bağlı 1. bölgede PM hesaplanmıştır. Bu emisyon tasarrufu değeri ve diğerleri Tablo 8'de verilmiştir. Pencere bağlı en yüksek emisyon tasarrufu değeri, 87188,088 kg/m<sup>2</sup> ile CFC-11 de kuru termometre sıcaklığına bağlı 4. bölgede ve 0,000206 kg/m<sup>2</sup> yaş termometre sıcaklığına bağlı 1. bölgede PM hesaplanmıştır. Bu emisyon tasarrufu değeri ve diğerleri Tablo 9'da verilmiştir. En yüksek emisyon değeri ozon tabakasını incelten madde olarak CFC-11 de bulunmaktadır. En düşük ise havayı kirleten partikül madde (PM) dir.



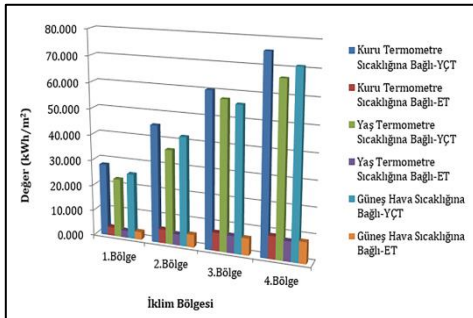
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 3.** Kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığına ve güneş hava sıcaklıklarına bağlı a) dış duvar, b) tavan, c) döşeme ve d) pencere için yaşam çevrimi ve enerji tasarrufu değerleri

**Figure 3.** Life cycle and energy saving values depending on dry bulb temperature, wet bulb temperature and solar air temperatures for a) external wall, b) ceiling, c) floor, and d) window

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Derece-gün metoduyla enerji tüketimi hesabında, ısıtma derece gün değerlerinde en yüksek kuru termometre sıcaklığına, daha sonra güneş hava sıcaklığına ve en düşük ise nemli hava sıcaklığına bağlı olanlarda tespit edilmiştir. Ek olarak TS 825 de tavsiye edilen en yüksek ısı transfer katsayısı pencerelerde en düşük ise tavan da verilmektedir. 2008 yılında yayınlanan TS 825 de ülkemiz dört iklim bölgesine temsil edilirken, 2013 yılında yayınlanan TS 825'de ülkemiz beş iklim bölgesi olarak temsil edilmiştir. Bu nedenle çalışmada, incelemeler dört iklim bölgesi için ağırlıklı olarak yapılmıştır. Tüm iklim bölgeleri için 2013 yılında yayınlanan TS 825 yalıtım standardımızın 2008 yılına oranla en yüksek enerji tasarrufu ve emisyon azaltılması birinci iklim bölgesinde, daha sonra ikinci ve dördüncü iklim bölgelerinde ve en düşük ise üçüncü iklim bölgesinde tespit edilmiştir. Bu nedenle üçüncü bölgede dış duvar, tavan, döşeme için ısı transfer katsayılarının tekrar incelenip, ısı transfer katsayılarının değerlerinin düşürülmesi gerekmektedir.

TS 825 de binaların enerji tüketimi hesaplanırken kuru termometre sıcaklığına bağlı olarak bulunan derece-gün değerleri ile tespit edilirken daha yüksek enerji tüketimi hesaplanmaktadır. Diğer yaş termometre ve güneş hava sıcaklığına bağlı sıcaklıklara bağlı bulunan derece-gün değerleri ile tespit edilen enerji tüketimi daha az miktarda hesaplanmaktadır. Bu nedenle dış ortam nemi ve güneş radyasyonu değerleri dikkate alınması gereklidir. Ek olarak güneş hava sıcaklığına bağlı olarak bulunan soğutma derece-gün değerleri, kuru termometre sıcaklığı ile bulunan derece gün değerlerinden daha yüksek olarak



hesaplanmıştır. Bu durum özellikle yaz ayları için dış ortam güneş radyasyonunun dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle, kuru termometre sıcaklığını dikkate alınarak yaz dönemi için binaların soğutulması için elektrik enerjisi gereksinimi eksik hesaplanmaktadır.

Kuru termometre sıcaklığı ve yaş termometre sıcaklığına bağlı olarak bulunan soğutma derce gün değerleri sadece birinci ve ikinci iklim bölgeleri için tespit edilmiştir ve böylece iki iklim bölgesinde soğutma yapılacağı görülmektedir.

Fakat güneş radyasyonuna bağlı olarak bulunan soğutma derece-gün değerleri birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü iklim bölgeleri için tespit edilmiştir. Böylece dört iklim bölgesi içinde soğutma yapılması gerektiği görülmektedir. Soğutma döneminde binaların elektrik enerjisi tüketimi hesaplarında önemli bir parametre yapı kabuğu ısı transfer katsayılarıdır. Tavan için ısı transfer katsayısının soğutma dönemini de düşünülerek tekrar gözden geçirilmesi gereklidir. TS 825 in 2013 versiyonunda birinci iklim bölgesinde tavan için soğutma döneminde dış yapı kabuğu bileşenlerine göre daha düşük enerji tasarrufu olduğu tespit edilmiştir

**Tablo 6.** Binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı toprak hava ısı değiştiricileri kullanımının farklı derece gün yaklaşımları için dış duvara bağlı emisyon tasarrufu değerleri**Table 6.** Emission saving values depending on the external wall for different degree-day approaches of the use of earth-air heat exchangers for heating and cooling in buildings

| Kirlenici  | Kuru Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |         | Yaş Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |         | Güneş-Hava Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |         |
|--|--|---------|---------|---------|---------|---|---------|---------|---------|---------|--|---------|---------|---------|---------|
|  | 1.Bölge                                      | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge | 1.Bölge                                     | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge | 1.Bölge  | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge |
| <b>Global Isınmayı Etkileyen Maddeler (kg/m<sup>2</sup>)</b> |  |         |         |         |         |   |         |         |         |         |  |         |         |         |         |
| CO <sub>2</sub>  | 1,331  | 1,617   | 1,431   | 1,794   | 40,046  | 1,085                                       | 1,303   | 1,364   | 1,579   | 37,318  | 1,209  | 1,500   | 1,329   | 1,685   | 37,881  |
| N <sub>2</sub> O   | 203,6  | 247,4   | 218,9   | 274,5   | 6127,0  | 166,0                                       | 199,3   | 208,6   | 241,6   | 5709,7  | 185,0  | 229,5   | 203,3   | 257,9   | 5795,8  |
| CH <sub>4</sub>  | 10,1   | 12,3    | 10,9    | 13,6    | 304,3   | 8,2   | 9,9     | 10,4    | 12,0    | 283,6   | 9,2  | 11,4    | 10,1    | 12,8    | 287,9   |
| <b>Ozon Tabakasını İncelten Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>     |  |         |         |         |         |   |         |         |         |         |  |         |         |         |         |
| CFC-11   | 2155,9                                       | 2619,1  | 2317,6  | 2906,3  | 64874,1 | 1757,6                                      | 2110,2  | 2209,1  | 2558,1  | 60455,8 | 1959,0   | 2429,7  | 2152,4  | 2730,5  | 61367,7 |
| <b>İnorganik Kirlenici Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>          |  |         |         |         |         |   |         |         |         |         |  |         |         |         |         |
| SO <sub>2</sub>  | 0,00013                                      | 0,00016 | 0,00014 | 0,00018 | 0,00401 | 0,00011                                     | 0,00013 | 0,00014 | 0,00016 | 0,00374 | 0,00012  | 0,00015 | 0,00013 | 0,00017 | 0,00379 |
| <b>Havayı Kirleten Partikül Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>     |  |         |         |         |         |   |         |         |         |         |  |         |         |         |         |
| PM   | 0,00002                                      | 0,00002 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00051 | 0,00001                                     | 0,00002 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00047 | 0,00002  | 0,00002 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00048 |

**Tablo 7.** Binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı toprak hava ısı değiştiricileri kullanımının farklı derece gün yaklaşımları için tavana bağlı emisyon tasarrufu değerleri**Table 7.** Ceiling dependent emission savings values for different degree-day approaches of using earth-air heat exchangers for heating and cooling in buildings

| Kirlenici  | Kuru Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |         | Yaş Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |         | Güneş-Hava Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |         |
|--|--|---------|---------|---------|---------|---|---------|---------|---------|---------|--|---------|---------|---------|---------|
|  | 1.Bölge                                      | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge | 1.Bölge                                     | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge | 1.Bölge  | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge |
| <b>Global Isınmayı Etkileyen Maddeler (kg/m<sup>2</sup>)</b> |  |         |         |         |         |   |         |         |         |         |  |         |         |         |         |
| CO <sub>2</sub>  | 0,665  | 1,078   | 1,431   | 1,794   | 23,360  | 0,542                                       | 0,868   | 1,364   | 1,579   | 21,769  | 0,605  | 1,000   | 1,329   | 1,685   | 22,097  |
| N <sub>2</sub> O   | 101,8  | 164,9   | 218,9   | 274,5   | 3574,1  | 83,0  | 132,9   | 208,6   | 241,6   | 3330,7  | 92,5   | 153,0   | 203,3   | 257,9   | 3380,9  |
| CH <sub>4</sub>  | 5,1  | 8,2     | 10,9    | 13,6    | 177,5   | 4,1   | 6,6     | 10,4    | 12,0    | 165,4   | 4,6  | 7,6     | 10,1    | 12,8    | 167,9   |
| <b>Ozon Tabakasını İncelten Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>     |  |         |         |         |         |   |         |         |         |         |  |         |         |         |         |
| CFC-11   | 1078,0                                       | 1746,1  | 2317,6  | 2906,3  | 37843,2 | 878,8                                       | 1406,8  | 2209,1  | 2558,1  | 35265,9 | 979,5  | 1619,8  | 2152,4  | 2730,5  | 35797,8 |

**Tablo 7.** devamı**Table 7.** continue

| <b>İnorganik Kirletici Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>      |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SO <sub>2</sub>  | 0,00007 | 0,00011 | 0,00014 | 0,00018 | 0,00401 | 0,00005 | 0,00009 | 0,00014 | 0,00016 | 0,00218 | 0,00006 | 0,00010 | 0,00013 | 0,00017 | 0,00221 |
| <b>Havayı Kirleten Partikül Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b> |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| PM   | 0,00001 | 0,00001 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00030 | 0,00001 | 0,00001 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00028 | 0,00001 | 0,00001 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00028 |

**Tablo 8.** Binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı toprak hava ısı değiştiricileri kullanımının farklı derece gün yaklaşımları için döşemeye bağlı emisyon tasarrufu değerleri**Table 8.** Floor dependent emission savings values for different degree-day approaches of using earth-air heat exchangers for heating and cooling in buildings

| Kirletici  | Kuru Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |         | Yaş Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |         | Güneş-Hava Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |         |
|--|--|---------|---------|---------|---------|---|---------|---------|---------|---------|--|---------|---------|---------|---------|
|  | 1.Bölge                                      | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge | 1.Bölge                                     | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge | 1.Bölge  | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge |
| <b>Global Isınmayı Etkileyen Maddeler (kg/m<sup>2</sup>)</b> |  |         |         |         |         |   |         |         |         |         |  |         |         |         |         |
| CO <sub>2</sub>  | 1,331  | 1,617   | 1,431   | 1,794   | 40,046  | 1,085                                       | 1,303   | 1,364   | 1,579   | 37,318  | 1,209  | 1,500   | 1,329   | 1,685   | 37,881  |
| N <sub>2</sub> O   | 203,6  | 247,4   | 218,9   | 274,5   | 6127,0  | 166,0                                       | 199,3   | 208,6   | 241,6   | 5709,7  | 185,0  | 229,5   | 203,3   | 257,9   | 5795,8  |
| CH <sub>4</sub>  | 10,1   | 12,3    | 10,9    | 13,6    | 304,3   | 8,2   | 9,9     | 10,4    | 12,0    | 283,6   | 9,2  | 11,4    | 10,1    | 12,8    | 287,9   |
| <b>Ozon Tabakasını İncelten Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>     |  |         |         |         |         |   |         |         |         |         |  |         |         |         |         |
| CFC-11   | 2155,9                                       | 2619,1  | 2317,6  | 2906,3  | 64874,1 | 1757,6                                      | 2110,2  | 2209,1  | 2558,1  | 60455,8 | 1959,0   | 2429,7  | 2152,4  | 2730,5  | 61367,7 |
| <b>İnorganik Kirletici Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>          |  |         |         |         |         |   |         |         |         |         |  |         |         |         |         |
| SO <sub>2</sub>  | 0,00013                                      | 0,00016 | 0,00014 | 0,00018 | 0,00401 | 0,00011                                     | 0,00013 | 0,00014 | 0,00016 | 0,00374 | 0,00012  | 0,00015 | 0,00013 | 0,00017 | 0,00379 |
| <b>Havayı Kirleten Partikül Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>     |  |         |         |         |         |   |         |         |         |         |  |         |         |         |         |
| PM   | 0,00002                                      | 0,00002 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00051 | 0,00001                                     | 0,00002 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00047 | 0,00002  | 0,00002 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00048 |

**Tablo 9.** Binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı toprak hava ısı değiştiricileri kullanımının farklı derece gün yaklaşımları için pencereye bağlı emisyon tasarrufu değerleri**Table 9.** Window-dependent emission savings values for different degree-day approaches of using earth-air heat exchangers for heating and cooling in buildings

| Kirlenici  | Kuru Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |          | Yaş Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |          | Güneş-Hava Termometre Sıcaklığına Bağlı Derece Gün |         |         |         |          |
|--|--|---------|---------|---------|----------|---|---------|---------|---------|----------|--|---------|---------|---------|----------|
|  | 1.Bölge                                      | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge  | 1.Bölge                                     | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge  | 1.Bölge  | 2.Bölge | 3.Bölge | 4.Bölge | 5.Bölge  |
| <b>Global Isınmayı Etkileyen Maddeler (kg/m<sup>2</sup>)</b> |  |         |         |         |          |   |         |         |         |          |  |         |         |         |          |
| CO <sub>2</sub>  | 19,962                                       | 32,335  | 42,918  | 53,820  | 200,229  | 16,274                                      | 26,052  | 40,910  | 47,371  | 186,592  | 18,139   | 29,997  | 39,859  | 50,564  | 189,407  |
| N <sub>2</sub> O   | 3054,3                                       | 4947,3  | 6566,5  | 8234,4  | 30635,0  | 2489,9                                      | 3986,0  | 6259,2  | 7247,8  | 28548,6  | 2775,3   | 4589,5  | 6098,5  | 7736,3  | 28979,2  |
| CH <sub>4</sub>  | 151,7  | 245,7   | 326,2   | 409,0   | 1521,7   | 123,7                                       | 198,0   | 310,9   | 360,0   | 1418,1   | 137,9  | 228,0   | 302,9   | 384,3   | 1439,5   |
| <b>Ozon Tabakasını İncelten Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>     |  |         |         |         |          |   |         |         |         |          |  |         |         |         |          |
| CFC-11   | 32339,2                                      | 52382,9 | 69527,8 | 87188,1 | 324370,5 | 26364,1                                     | 42204,8 | 66274,1 | 76741,8 | 302279,2 | 29385,5  | 48594,8 | 64572,1 | 81913,6 | 306838,7 |
| <b>İnorganik Kirlenici Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>          |  |         |         |         |          |   |         |         |         |          |  |         |         |         |          |
| SO <sub>2</sub>  | 0,00200                                      | 0,00324 | 0,00430 | 0,00539 | 0,02005  | 0,00163                                     | 0,00261 | 0,00410 | 0,00474 | 0,01868  | 0,00182  | 0,00300 | 0,00399 | 0,00506 | 0,01896  |
| <b>Havayı Kirlen Partikül Madde (kg/m<sup>2</sup>)</b>       |  |         |         |         |          |   |         |         |         |          |  |         |         |         |          |
| PM   | 0,00025                                      | 0,00041 | 0,00054 | 0,00068 | 0,00254  | 0,00021                                     | 0,00033 | 0,00052 | 0,00060 | 0,00236  | 0,00023  | 0,00038 | 0,00050 | 0,00064 | 0,00240  |

## 5. Sonuçlar

Çalışmada, binaların ısıtılması ve soğutulmasında toprak hava ısı değiştirici kullanılması durumunda yaşam çevrimi maliyeti, enerji tasarrufu maliyet ve emisyon incelemeleri yapılmıştır. Buna göre elde edilen sonuçları incelersek, ısıtma için TS 825 in 2008 yerine 2013 versiyonu kullanılması ile tüm derece gün yaklaşımları için dış duvarlara ve döşemeye bağlı en yüksek enerji tüketimi ve emisyon değerlerine göre tasarruf % 5,7 kadar 1.iklim bölgesinde ve en düşük ise % 4,0 ile 3. iklim bölgesinde tespit edilmiştir. 2. ve 4. iklim bölgeleri için ise % 5,0 tasarruf bulunmuştur. Buna üçüncü iklim bölgesinin daha ayrıntılı incelenip geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Dört iklim bölgesinin tümü göz önüne alındığında % 4,9 kadar tasarruf sağlanmaktadır. Döşemeye bağlı en yüksek enerji tüketimi ve emisyon değerlerine göre tasarruf % 8,0 kadar 4. iklim bölgesinde ve en düşük ise % 4,4 ile 1. iklim bölgesinde tespit edilmiştir. 2. iklim bölgesinde % 5,0 ve 3. iklim bölgesinde ise % 6,7 tasarruf bulunmuştur. Buna göre 1. iklim bölgesinin daha ayrıntılı incelenip geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Dört iklim bölgesinin tümü göz önüne alındığında % 6,0 kadar tasarruf bulunmaktadır. Pencereye bağlı enerji tüketimi ve emisyon değerlerine göre tasarruf tüm iklim bölgeleri ve derece gün yaklaşımları için % 25 olarak tespit edilmiştir.

Isıtma dönemi için derece-gün değerleri, üç farklı derece gün yaklaşımı arasında en yüksek kuru termometre sıcaklığına bağlı olarak bulunmuştur. Soğutma dönemi için derece gün değerleri ise, en yüksek güneş hava termometre sıcaklığı için tespit edilmiştir.

Isıtma dönemi için TS 825 in 2008 yerine 2013 versiyonu kullanılması ile enerji tüketim farkı, dış duvar, tavan ve döşeme için en yüksek 2,444 kWh/m<sup>2</sup> değeri ile kuru termometre sıcaklığına bağlı olarak bulunmuştur. Pencere için ise 73,314 kWh/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Soğutma dönemi için en yüksek güneş hava termometre sıcaklığına bağlı olarak dış duvar, tavan ve döşeme için 0.117 kWh/m<sup>2</sup>

değeri hesaplanmıştır. Pencere için ise 1,759 kWh/m<sup>2</sup> bulunmuştur.

Global ısınmayı etkileyen maddelerden, kuru termometre sıcaklığına bağlı dış duvar, döşeme ve tavan için en yüksek CO<sub>2</sub> emisyonu tasarrufu dört iklim bölgesi içinde; 1,794 kg/m<sup>2</sup>, pencere için 53,820 kg/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. Yaş termometre sıcaklığına bağlı dış duvar, döşeme ve tavan için 1,579 kg/m<sup>2</sup>, pencere için 47,371 kg/m<sup>2</sup> tespit edilmiştir. Güneş hava termometre sıcaklığına bağlı dış duvar, döşeme ve tavan için 1,685 kg/m<sup>2</sup>, pencere için 50,564 kg/m<sup>2</sup> bulunmuştur.

Ozon tabakasını incelten madde olarak CFC-11 için emisyon tasarrufu, kuru termometre sıcaklığına bağlı dış duvar, döşeme ve tavan için en yüksek dört iklim bölgesi içinde; 2906,3 kg/m<sup>2</sup>, pencere için 87188,1 kg/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. Yaş termometre sıcaklığına bağlı dış duvar, döşeme ve tavan için 2558,1 kg/m<sup>2</sup>, pencere için 76741,8 kg/m<sup>2</sup> tespit edilmiştir. Güneş hava termometre sıcaklığına bağlı dış duvar, döşeme ve tavan için 2730,5 kg/m<sup>2</sup>, pencere için 81913,6 kg/m<sup>2</sup> bulunmuştur.

İnorganik kirletici madde olarak SO<sub>2</sub> için emisyon tasarrufu, kuru termometre sıcaklığına bağlı dış duvar, döşeme ve tavan için en yüksek dört iklim bölgesi içinde; 0,00018 kg/m<sup>2</sup>, pencere için 0,00539 kg/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. Yaş termometre sıcaklığına bağlı dış duvar, döşeme ve tavan için 0,00016 kg/m<sup>2</sup>, pencere için 0,00474 kg/m<sup>2</sup> tespit edilmiştir. Güneş hava termometre sıcaklığına bağlı dış duvar, döşeme ve tavan için 0,00017 kg/m<sup>2</sup>, pencere için 0,00506 kg/m<sup>2</sup> bulunmuştur.

Havayı kirleten partikül madde için emisyon tasarrufu, üç farklı sıcaklığına bağlı dış duvar, döşeme ve tavan için en yüksek dört iklim bölgesi içinde; 0,00002 kg/m<sup>2</sup>, kuru termometre sıcaklığına bağlı pencere için 0,00068 kg/m<sup>2</sup> hesaplanmıştır. Yaş termometre sıcaklığına bağlı pencere için 0,00060 kg/m<sup>2</sup> tespit edilmiştir. Güneş hava termometre sıcaklığına bağlı pencere için 0,00064 kg/m<sup>2</sup> bulunmuştur.

Isıtma dönemi için birinci iklim bölgesinden beşinci iklim bölgesine doğru tüm sıcaklık yaklaşımına bağlı olarak hesaplanan derece-gün değerleri artmaktadır. Soğutma dönemi için birinci iklim bölgesinden dördüncü iklim bölgesine doğru, tüm sıcaklık yaklaşımına bağlı olarak hesaplanan derece-gün değerleri azalmaktadır. Beşinci iklim bölgesi için tüm sıcaklık yaklaşımlarında soğutma yapılmasına gerek olmadığı görülmektedir.

Gelecekteki yapılacak çalışmalarda, toprak hava ısı değiştirgeci ile ısıtılan ve soğutulan binaların ayrıntılı ısı iletim, taşınım ve radyasyon ısı transferi hesaplamaları kullanarak yapı kabuğu ısıl analizleri yapılacaktır.

## 5. Conclusion

In the study, life cycle cost, energy saving cost, and emission analyzes were made in the case of using earth air heat exchangers for heating and cooling of buildings. According to the results obtained, when the results obtained are examined, it is seen that the use of the 2013 version of TS 825 for heating instead of 2008, for all degree-day approaches, the highest energy consumption and emission values due to external walls and flooring are saved by 5.7% in the 1st climate zone and the lowest was determined as 4.0% in the 3rd climate zone. For the 2nd and 4th climate zones, a 5.0% saving rate was found. This shows that the third climate zone needs to be studied and developed in more detail. Considering all four climate zones, savings of up to 4.9% are achieved. The highest energy consumption and emission savings due to flooring were determined in the 4th climate zone by 8.0% and the lowest in the 1st climate zone at 4.4%. A saving rate of 5.0% was found in the 2nd climate zone and 6.7% in the 3rd climate zone. Accordingly, it shows that the 1st climate zone should be examined and developed in more detail. Considering all four climate zones, there is a savings of up to 6.0%. According to the window-related energy consumption and emission values, the savings are determined as 25% for all climate zones and degree-day approaches.

The degree-day values for the heating period were found depending on the highest dry bulb temperature among the three different degree-day approaches. The degree-day values for the cooling period were determined for the highest solar air thermometer temperature.

By using the 2013 version of TS 825 instead of 2008 for the heating period, the energy consumption difference was found depending on the dry bulb temperature with the highest value of 2,444 kWh/m<sup>2</sup> for the external wall, ceiling, and floor. For the window, it was determined as 73,314 kWh/m<sup>2</sup>. For the cooling period, a value of 0.117 kWh/m<sup>2</sup> was calculated for the external wall, ceiling, and floor, depending on the highest solar air thermometer temperature. For the window, it was found 1,759 kWh/m<sup>2</sup>.

Among the substances that affect global warming, the highest CO<sub>2</sub> emission savings for exterior walls, floors and ceilings depending on dry bulb temperature is 1,794 kg/m<sup>2</sup> in four climate zones; It is calculated as 53,820 kg/m<sup>2</sup> for the window. The highest CO<sub>2</sub> emission savings were determined as 1,579 kg/m<sup>2</sup> for exterior wall, floor and ceiling depending on wet bulb temperature and 47,371 kg/m<sup>2</sup> for window. The highest CO<sub>2</sub> emission savings were found for exterior walls, floors and ceilings of 1,685 kg/m<sup>2</sup>, and 50,564 kg/m<sup>2</sup> for windows, depending on solar air thermometer temperature.

The highest emission savings for the CFC-11 as ozone depleting substance, for exterior walls, floor, and ceiling dependent on dry bulb temperature within four climate zones calculated as 2906.3 kg/m<sup>2</sup>, and 87188.1 kg/m<sup>2</sup> for windows. Depending on the wet bulb temperature, the highest emission savings for the CFC-11 calculated as 2558.1 kg/m<sup>2</sup> for external walls, floors and ceilings and 76741.8 kg/m<sup>2</sup> for windows were determined. It was found 2730.5 kg/m<sup>2</sup> for exterior wall, floor and ceiling, and 81913.6 kg/m<sup>2</sup> for window, depending on solar air thermometer temperature.

The highest emission savings for SO<sub>2</sub> as an inorganic pollutant are calculated as 0.00018

kg/m<sup>2</sup> within the four highest climate zones for external wall, floor and ceiling depending on dry bulb temperature; 0.00539 kg/m<sup>2</sup> for windows. Depending on the wet bulb temperature, 0.00016 kg/m<sup>2</sup> for external walls, floors and ceilings and 0.00474 kg/m<sup>2</sup> for windows were determined. It was found 0.00017 kg/m<sup>2</sup> for external wall, floor and ceiling, and 0.00506 kg/m<sup>2</sup> for windows depending on solar air thermometer temperature.

The highest emission savings for air-polluting particulate matter are calculated as 0.00002 kg/m<sup>2</sup> within the four highest climate zones for exterior wall, floor, and ceiling depending on three different temperatures; calculated as 0.00068 kg/m<sup>2</sup> for the window depending on the dry bulb temperature. 0.00060 kg/m<sup>2</sup> was determined for the window depending on the wet bulb temperature. 0.00064 kg/m<sup>2</sup> was found for the window depending on the solar air thermometer temperature.

For the heating period, the degree-day values calculated depending on the whole temperature approach increase from the first climate zone to the fifth climate zone. For the cooling period, the degree-day values calculated depending on the whole temperature approach decrease from the first climate zone to the fourth climate zone. It is seen that there is no need for cooling in all temperature approaches for the fifth climate zone.

In future studies, building envelope thermal analyzes will be carried out using detailed heat conduction, convection and radiation heat transfer calculations of buildings heated and cooled by earth-air heat exchanger.

#### **Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı**

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur"

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır"

#### **KAYNAKÇA**

[1] Bulut, H., Karadağ R., Demirtaş Y., Hilali İ. 2016. Şanlıurfa Kış Şartlarında Bir Toprak-Hava Isı

Değiştiricisinin Performans Analizi, Tesisat Mühendisliği, cilt, 152, s. 54-66.

[2] Peker, B. 2016. Toprak-Hava Isı Değiştiricisi Performansına Etki Eden Parametrelerin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Araştırılması, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.

[3] Krese, G, Prek, M., Butala, V. 2011. Incorporation of latent loads into the cooling degree days concept. Energy and Buildings, cilt. 43, s. 1757-1764. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.042>

[4] Cao J., Li M., Zhang R, Wang M. 2021. An efficient climate index for reflecting cooling energy consumption: Cooling degree days based on wet bulb temperature. Meteorological Applications, cilt. 28 (3), 2005, s. 1-10. <https://doi.org/10.1002/met.2005>

[5] Sabapathy, K. A. 2020. Gedupudi, S. On the influence of concrete-straw-plaster envelope thermal mass on the cooling and heating loads for different climatic zones of India. Journal of Cleaner Production, cilt. 276, 123117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123117>

[6] Carpio M., López-Ochoa, L. M., Las-Heras-Casas, J., Verichev, K. 2022. Influence of heating degree day calculation methods in designing the thermal envelope of buildings. Journal of Building Engineering, cilt. 46, 103604. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.103604>

[7] Taşdelen, F. 2015. Bir Binaın Termal Konforunu Sağlamak İçin Tasarlanan Toprak Hava Isı Değiştiricisinin Bilgisayar Destekli Analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ. 85s.

[8] Al-Ajmia, F., Lovedayb, D. L., Hanby, V. I. 2006. The cooling potential of earth-air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate. Building and Environment, cilt. 41, s. 235-244. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.027>

[9] Shukla, A., Tiwari, G. N., Sodha, M. S. 2006. Thermal modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and an earth-air heat exchanger. Building and Environment, cilt. 41, s. 843-850. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.014>

[10] Belatrache, D., Bentouba, S., Bourouis, M. Numerical analysis of earth air heat exchangers at operating conditions in arid climates. International Journal of Hydrogen Energy, 42 (2017) 8898-8904.

[11] Bisoniya, T. S., Kumar, A., Baredar, P. 2015. Energy metrics of earth-air heat exchanger system for hot and dry climatic conditions of India. Energy and Buildings, cilt. 86, s. 214-221. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.012>

- [12] Menhoudj, S., Mokhtari, A.-M., Benzaama, M.-H., Maalouf, C., Lachi, M., Makhlouf, M. 2018. Study of the energy performance of an earth—Air heat exchanger for refreshing buildings in Algeria. *Energy and Buildings*, cilt. 158, s. 1602–1612. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.056>
- [13] Ozel, M. 2013. Thermal, conomical and environmental analysis of insulated building walls in a cold climate. *Energy Conversion and Management*, cilt. 76, s. 674-684. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.013>
- [14] Ulaş, A. 2010. Binalarda TS 825 hesap yöntemine göre ısı kaybı, yakıt tüketimi, karbondioksit emisyonu hesabı ve maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 155s.
- [15] Kon, O. 2014. Farklı amaçlarla kullanılan binaların ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlıklarının teorik ve uygulamalı olarak belirlenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir. 288 s.
- [16] Jraida K., Farchi A., Mounir B., Mounir İ. 2017. A study on the optimum insulation thickness of building walls respect to different zones in Morocco. *International Journal of Ambient Energy*, cilt, 38(6), s. 550-555. <https://doi.org/10.1080/01430750.2016.1155490>
- [17] Alghoul, S. K., Gweshia, A. O, Naas A. M. 2016. The effect of electricity price on saving energy transmitted from external building walls, *Energy Research Journal*, cilt. 7(1), s. 1-9. <https://doi.org/10.3844/erjsp.2016.1.9>
- [18] Kon, O. ,Caner, I. 2020. Life Cycle Cost Analysis of the Buildings in Turkey Related to Energy Consumption Due to ExternalWall Insulation, ss. 123-135. *Environmentally-Benign Energy Solutions*, 876 s. Green Energy and Technology, Springer Nature Switzerland AG. 123-135.
- [19] Limak Enerji Uludağ Elektrik Verileri (Erişim Tarihi: 01.11. 2021)
- [20] Dombaycı, Ö. A. Gölcü, M. Pancar, Y. 2006. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources, *Applied Energy*, cilt. 83(9), s. 921-928. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.10.006>
- [21] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standardı, Aralık 2013.
- [22] TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standardı, Mayıs 2008.
- [23] 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*, cilt. 181, s. 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.108>
- [24] Molenbroek, E., Smith, M., Surmeli, N., Schimschar, S. (Ecofys), Waide, P. (Waide Strategic Efficiency), Tait, J. (Tait Consulting), McAllister, C. (Sea Green Tree). 2015. European Commission, Savings and benefits of global regulations for energy efficient products A 'cost of non-world' study, Final report,September.