ARAŞTIRMA MAKALESİ

Küçük Ölçekli Sanayi Tesislerinde Fan Seçiminin Enerji Tüketimi ve Karbon Ayak İzi Üzerindeki Etkisi

Özlem EMANET

Dr. Mak. Müh.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği
İstanbul
panzehir@yildiz.edu.tr
orcid: 0000-0002-1947-7699

Nuri Alpay KÜREKCİ

Doç. Dr.
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği
İstanbul
kurekci@yildiz.edu.tr
orcid: 0000- 0002-0450-4818

ÖZ

Bir ülkenin sanayileşmesinde en temel ihtiyaç, elektrik enerjisidir. 2022 yılı verilerine göre Türkiye'de faturalanan elektriğin %42,62'si sanayi tarafından kullanılmaktadır. On iki aylık ortalama dikkate alındığında üretilen elektriğin %49,18'i fosil yakıtlar kullanılarak elde edilmektedir. Bu üretimin karbon emisyonu içindeki payı %52,04'tür. Hem ekonomik hem de çevresel olarak üretilen enerjinin verimli bir şekilde kullanılması artık bir zorunluluktur. Küçük sanayi işletmeleri için verimli enerji kullanımını sağlayacak tesislerin projelendirilmesi ve kurulumu yüksek maliyet dolayısıyla yaygın değildir. Bu çalışmada İstanbul'da bir organize sanayi sitesinde kurulu, benzer özelliklere sahip üç döküm tesisinin mevcut baca sistemlerindeki basınç kaybı hesaplanmış ve bu kayıpları karşılayacak fan özellikleri belirlenmiştir. Hesaplanan ve sistemde kurulu fan özelliklerine göre elektrik enerjisi tüketimi, yıllık enerji maliyetleri ve karbon ayak izi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre birinci işletmede %88, ikinci işletmede %85 ve üçüncü işletmede %172 fazla elektrik tüketildiği belirlenmiştir. Fazla elektrik enerjisi tüketimi nedeniyle CO_2 salınımın yıllık olarak birinci işletmede 5768,06 kg, ikinci işletmede 11316,84 kg ve üçüncü işletmede 11375,26 kg arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Fan Seçimi, Enerji Verimliliği, Karbon Ayak İzi.

The Effect of Fan Selection on Energy Consumption and Carbon Footprint in Small Scale Industrial Facilities

ABSTRACT

The most basic need in the industrialization of a country is electrical energy. According to 2022 data, 42.62% of the billed electricity in Turkey is used by industry. Considering the twelve-month average, 49.18% of the electricity produced is obtained using fossil fuels. The share of this production in carbon emissions is 52.04%. The efficient use of energy produced both economically and environmentally is now a necessity. Project design and installation of facilities that will provide efficient energy use for small industrial enterprises are not expected due to high costs. In this study, the pressure loss in the existing chimney systems of three casting plants with similar characteristics, established in an organized industrial site in Istanbul, was calculated. The fan characteristics to meet these losses were determined. Electrical energy consumption, annual energy costs, and carbon footprint were calculated according to the fan characteristics calculated and installed in the system. According to the results obtained, it was determined that 88% more electricity was consumed in the first factory, 85% in the second factory, and 172% in the third factory t. It was determined that CO_2 emissions increased annually by 5768,06 kg in the first factory, 11316,84 kg in the second factory, and 11375,26 kg in the third factory due to excessive electrical energy consumption.

Keywords

Fan Selection, Energy Efficiency, Carbon Footprint.

Geliş Tarihi : 25.07.2023
Kabul Tarihi : 26.07.2023

Emanet, Ö., Kürekci, N. A., Küçük Ölçekli Sanayi Tesislerinde Fan Seçiminin Enerji Tüketimi ve Karbon Ayak İzi Üzerindeki Etkisi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı: 197, sf. 12-17, Temmuz-Ağustos 2023.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi sanayinin temel girdilerinden biridir. Türkiye'de faturalanan elektriğin %42,62'si sanayi tarafından kullanılmaktadır [1]. Enerji maliyetleri ve enerji üretiminin neden olduğu sera gazı emisyonunun çevresel etkileri dikkate alındığında elektrik enerjisinin verimli kullanılması bir zorunluluk haline gelmektedir. Özellikle küçük ölçekli işletmelerde sistem tasarım hataları, enerji tüketiminin artmasında büyük rol oynamaktadır. Hatalı baca sistemleri tasarımı ve fan seçimi, oldukça sık rastlanan bir örnektir. Baca sisteminin doğru boyutlandırılması ve fan seçimi için en önemli parametre baca gazı debisidir. Bacaya doğrudan bağlı sistemlerde baca gazı debisi, yakıtın yanması sonucu açığa çıkan duman gazı debisine eşittir. Davlumbazlı sistemlerde ise duman gazına ortam havası da eklenmekte ve baca gazı debisi bir hayli artmaktadır. Baca sistemi boyutları ve dolayısıyla gaz hızı ile sistem üzerindeki filtre, klape gibi elemanların varlığı basınç kaybını doğrudan etkileyen parametrelerdir.

Fanlar sanayide önemli miktarda elektrik tüketirler. Fan sistemlerinde seçim, tasarım, imalat ve işletme süreçlerinin optimizasyonu enerjinin verimli kullanılmasını sağlar. Bu cihazların kullanım ömürleri boyunca maliyetlerinin %10'u ilk yatırım maliyeti ve %90'ı işletme maliyetidir. Dolayısıyla doğru fan seçiminde temel kriter ilk yatırım maliyeti değil, işletme maliyeti olmalıdır. Tasarımda sistem debisi ve basıncı belirlenirken emniyet payı bırakılır. Ayrıca işletme de olası bir kapasite artışını karşılayacak bir pay olmasını isteyebilir [2]. İşletmede baca gazı içeriğinde toz var ise toz partiküllerine etkiyen yerçekimi kuvvetinin yenilmesi ve tozun filtreye taşınabilmesi için gaz hızının belirli sınırlar arasında olması gerekir [3]. Gaz hızının yüksek olması sistemde ve filtrede yüksek basınç kaybına neden olur. Bu şekilde ortaya çıkan optimum olmayan fan özellikleri, enerjinin verimsiz kullanılmasına neden olur.

Endüstriyel sistemlerde enerji verimliliği üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Ancak özellikle işletmelerdeki baca sistemi ve fanlardan kaynaklanan enerji tüketiminin belirlenmesine veya azaltılmasına yönelik detaylı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Taşdemir (2019) bir döküm fabrikasının enerji etüdünü yapmıştır. Tesisteki havalandırma sistemlerindeki fanların kayış-kasnak sistemlerinde V kayış kullanılmasının %2-5 arasında bir enerji tasarrufu sağladığını belirlemiştir. Ayrıca havalandırma sistemlerindeki fan motorlarının yüksek verimli motorlarla değiştirilmesinin 30 kW'lık bir motorda yıllık 0,442 TEP (ton eşdeğer petrol) tasarruf sağladığını hesaplamıştır. Tüm sistemde alınacak önlemlerin sera gazı emisyonu üzerinde etkisini belirlemiştir [4]. Kaya vd. (2015) endüstride yapılmış olan bazı enerji verimliliği çalışmalarını incelemişler ve önerilen değişikliklerin maliyetini, tasarruf miktarını ve geri ödeme süresini hesaplamışlardır. Fan ve motor arasında güç aktarımında kayış kasnak mekanizması kullanılmasının %4-5'e varan kayba neden olduğunu görmüşlerdir. Fan ve elektrik motorunun akuple çalışmasının bu kaybı azaltacağını belirtmişlerdir. Havalandırma sistemlerinin doğru projelendirilmesiyle boru çapları ve fan boyutlarının küçüleceği ve ihtiyaç duyulan hava hızının sağlanmasının kolay olacağını ifade etmişlerdir. Ayrıca değişken debi ile çalışıldığı durumlarda fanın debiye bağlı olarak bir frekans konvertörü ile sürülmesinin enerji verimliliğini artırdığını göstermişlerdir [5]. Akhan (2022) sanayide pompa ve fan sistemlerinde uygulanan verimlilik artırıcı yöntemleri deneysel olarak incelemiştir. Pompa veya fan sistemlerinde debi kontrolü önemlidir. Değişken debili sistemlerde, debi kontrolünün frekans konvertörlü fan ve pompalar ile sağlanmasının %60'a varan enerji tasarrufu sağladığını belirlemiştir [6].

Bu çalışmada baca sistemlerinde kullanılan fanların hatalı seçilmesinin elektrik enerjisi tüketimi ve karbon ayak izi üzerindeki etkisi incelenmiştir. İstanbul'da bir organize sanayi sitesinde kurulu, benzer özelliklere sahip üç döküm tesisi örnek olarak ele alınmıştır. Bu tesislerde, baca sistemi ve davlumbaz boyutlarına göre basınç kaybı hesaplanmış ve gerekli fan özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen ve mevcut fan özelliklerine göre elektrik enerjisi tüketimi, enerji maliyetleri ve karbon ayak izi hesaplanmıştır.

2. HESAP METODU

Baca sistemindeki basınç düşümü DIN4705'e göre hesaplanmıştır. Buna göre bacadaki doğal çekiş toplam basınç kaybına eşit olmalıdır [7]. Bu koşulun sağlanmadığı durumda sisteme basınç kaybını karşılayacak bir fan eklenir. P_H doğal çekiş, P_A bağlantı kanalındaki basınç kaybı, P_E baca kanalındaki

basınç kaybı ve P_W kazandaki basınç kaybı olmak üzere;

$$P_H \geq P_A + P_E + P_W \quad (1)$$

olmalıdır.

Farklı yakıtların yanması sonucu oluşan duman gazı debisi [8],

$$\dot{m} = k \cdot Q/1000 \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada (kg/s) duman gazı kütlesel debisi, Q (kW) cihaz kapasitesidir. k (kg/s. kW. 10^{-3}) cihaz cinsine ve gücüne bağlı olarak duman gazı miktarı hesabında kullanılan bir katsayıdır ve grafikten okunur [9]. Cihazın doğrudan bacaya bağlanmadığı ve üzerinde davlumbaz bulunduğu durumda, baca gazı debisi davlumbaz tarafından toplanan hava ve duman gazı karışımının debisi olarak alınır. Davlumbaz debisi,

$$\dot{m} = 1{,}4 \cdot P \cdot V \cdot D \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada P (m) davlumbaz çevre uzunluğu, V (m/s) yakalama hızı ve D (m) davlumbazın ocaktan yüksekliğidir [10].

Baca çekişi,

$$P_H = g \cdot H \cdot (\rho_H - \rho_A) \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanır. H (m) etkili baca yüksekliği, g (m/s^2) yerçekimi ivmesi, ρ_A ve ρ_H (kg/m^3) sırasıyla baca gazının ve dış havanın yoğunluğudur.

Bağlantı kanalı basınç kaybı,

$$P_A = 1{,}5 \cdot (\lambda \cdot L/D_H + \Sigma\xi) \cdot \rho_A \cdot (w^2/2) \quad (5)$$

ve baca basınç kaybı,

$$P_E = 1{,}5 \cdot (\lambda \cdot L/D_H + \Sigma\xi) \cdot \rho_A \cdot (w^2/2) \quad (6)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

Eşitlik 5 ve 6'daki hidrolik çap,

$$DH = 4 \cdot F/U \quad (7)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada F (m^2) akıma dik kesit alan ve U (m) ıslak çevredir.

Düz boru (üniversal) kayıp katsayısı hidrolik çap ve r (m) pürüzlülük değerine bağlı olarak,

$$\lambda = 0{,}118\ (r^{0,25}/D_H^{0,40}) \quad (8)$$

eşitliği ile bulunur.

Baca gazlarının yoğunluğu,

$$\rho_A = 1{,}27 \cdot [273/(273 + T)] \quad (9)$$

ve duman gazı hızı

$$W = \dot{m}/F \quad (10)$$

eşitlikleriyle hesaplanır. Özel kayıp katsayısı ξ ise yerel kayıp yaratan bağlantı parçalarına göre tablolardan alınır [3].

Fan elektriksel gücü

$$N = \dot{V} \cdot H / (\eta_{fan} \cdot 1000) \quad (11)$$

eşitliği ile hesaplanır. Buradaki $\dot{V}$ (m^3/s) baca gazı hacimsel debisi, H (Pa) fan basıncı ve η_{fan} fan verimidir. Santrifüj fanların verimi %60-92 arasında değişir [11]. Hesaplarda fan verimi %60 alınmıştır.

Döküm tesislerinde çalışma ortamı tozlu olduğundan, baca sistemlerinde torba filtre kullanılmaktadır. Torba filtredeki basınç kaybı,

$$\Delta P = 16 \cdot [C \cdot \rho \cdot \dot{V}^2/N^2 \cdot D_2^4] \quad (12)$$

eşitliği ile hesaplanır [12]. Burada C filtre boyutlarına bağlı olarak hesaplanan bir katsayı, N torba sayısı ve D_2 (m) torba çapıdır.

3. ÜÇ ÖRNEK TESİS İÇİN ENERJİ TÜKETİMİ VE KARBON AYAK İZİ HESABI

3.1. Örnek Tesislerin Özellikleri

Örnek olarak seçilen tesislerde benzer özelliklere sahip bir adet yer tipi ergitme potası ve baca sistemi bulunmaktadır. Baca sistemi davlumbaz, bağlantı kanalları, torba filtre, fan ve baca kanalından oluşmaktadır. Seçilen tesislerdeki sistem özellikleri Tablo 1'de yer almaktadır.

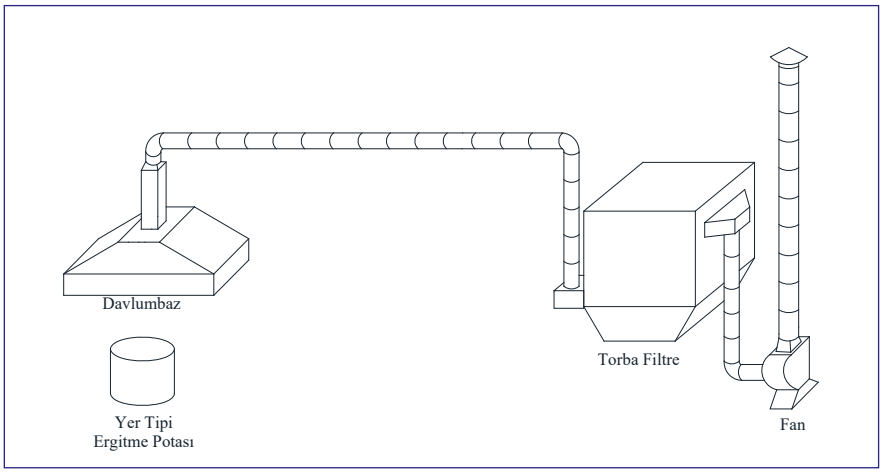
Tablo 1. Tesislerdeki sistem özellikleri

Tesis No	Ergitme Potası Kapasitesi [kW]	Fan Debisi [m^3/h]	Fan Basıncı [Pa]
1	232	10.000	3550
2	930	25.000	3432
3	320	25.000	3480

Şekil 1'de örnek bir baca sisteminin şematik resmi görülmektedir.

3.2. Sistemdeki Basınç Kaybı

Örnek tesislerdeki baca sistemlerinin bağlantı kanalı ve baca çapına göre basınç kaybı ve gerekli fan gücü değerleri DIN4705 esas alınarak hesap-



Şekil 1. Örnek baca sisteminin şematik resmi

lanmıştır. Baca sistemindeki basınç kaybı, kanallardaki basınç kaybı ve filtredeki basınç kaybının toplamıdır. Tesislerdeki baca sistemi basınç kaybı ve hesaplanan fan gücü değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

3.3. Elektrik Tüketimi ve Maliyeti

Tesisin günde 8 saat ve ayda 22 gün çalıştığı kabul edilmiştir. İncelenen sanayi tesislerinde tek terimli tek zamanlı alçak gerilim tarifesine göre elektrik birim fiyatı 0,13 $/kWh (2,584316 TL/kWh) dir [13]. Tüketim maliyeti hesaplanırken tüketilen enerji bedeline iletim bedeli, OSB dağıtım bedeli, %1 belediye vergisi ve %20 KDV eklenmiştir. Tesislerin hesaplanan güç değerine göre fan seçilmesi durumunda tüketecekleri elektrik enerjisi, mevcut durumda tükettikleri elektrik enerjisi miktarı ve ortaya çıkan fark yıllık olarak Tablo 3'de verilmiştir.

Tesislerin Tablo 3'de verilen tüketim miktarlarına göre hesaplanmış olan yıllık ek enerji maliyeti değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 2. Örnek Baca Sistemlerinin Basınç Kaybı Ve Hesaplanan Elektriksel Fan Gücü Değerleri

Tesis No	Bağlantı Kanalı Basınç Kaybı [Pa]	Baca Kanalı Basınç Kaybı [Pa]	Toplam Basınç Kaybı [Pa]	Hesaplanan Fan Gücü [kW]
1	825,10	270,14	1272,04	7,94
2	1759,50	832,97	2769,28	16,15
3	2010,54	312,05	2474,28	8,08

Tablo 3. Tesislerin Yıllık Elektrik Tüketim Miktarı

Tesis No	Mevcut Güç [kW]	Hesaplanan Fan Gücü [kW]	Mevcut Tüketim [kWh/yıl]	Hesaplanan Tüketim [kWh/yıl]	Fark [kwh/yıl]
1	15	7,94	31680,00	16675, 43	14904,57
2	30	16,15	63360,00	34117,53	29242,47
3	22	8,08	46464,00	17070,55	29393,45

Tablo 4. Tesislerin Yıllık Elektrik Tüketim Maliyetleri

Tesis No	Güç Farkı [kW]	Tüketim Farkı [kWh/yıl]	Yıllık Ek Maliyet [$/yıl]
1	7,06	14904,57	1948,68
2	13,85	29242,47	3823,27
3	13,92	29393,45	3843,01

3.4. Karbon Ayak İzi

Karbon ayak izi, sera gazı emisyonu sonucu çevreye verdiğimiz zararın birim karbondioksit cinsinden ölçülmüş halidir. Türkiye'nin birim kWh enerji başına karbon yoğunluğu on iki aylık ortalama 387 gCO_2/kWh'dir [14]. İşletmelerin elektrik enerjisi tüketiminden dolayı ürettikleri CO_2 miktarı Eşitlik 13 ile hesaplanmaktadır. Burada mCO_2 (g) üretilen eşdeğer CO_2 emisyon miktarı, CI (gCO_2/kWh) karbon yoğunluğu ve EC (kWh) tüketilen enerji miktarıdır.

$$m_{CO_2} = CI \cdot EC \quad (13)$$

Örnek tesislerin elektrik enerjisi tüketimine göre hesaplanmış yıllık karbon ayak izi değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Tesislerin Yıllık Karbon Ayak İzi

Tesis No	Mevcut Tüketime Göre CO_2 [kg/yıl]	Hesaplanan Tüketime Göre CO_2 [kg/yıl]	Fark [kg/yıl]
1	12260,16	6492,09	5768,07
2	24520,32	13203,48	11316,84
3	17981,57	6606,30	11375,26

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

İstanbul'da bir organize sanayi sitesinde kurulu döküm tesislerinden üç tanesi örnek tesis olarak belirlenmiştir. Ele alınan örnek tesislerin baca sistemlerindeki basınç kaybı DIN4705'e göre hesaplanmış ve bu kaybı karşılayacak fan özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen fan özellikleri, tesiste kurulu bulunan mevcut fan özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Fanların elektriksel güçlerine göre yıllık elektrik enerjisi tüketimleri, mevcut durum ve hesaplanan durum için bulunmuştur. Tesislerin kullandığı elektrik tarifesine göre her iki durum için yıllık elektrik enerjisi tutarları ve aradaki fark hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yıllık olarak birinci işletmede %88, ikinci işletmede %85 ve üçüncü işletmede %172 fazla elektrik tüketildiği belirlenmiştir.

İşletmelerin elektrik enerjisi tüketim değerlerine göre karbon ayak izi değerleri hesaplanmıştır. Yıllık olarak birinci işletmede 5768,07 kg, ikinci işletmede 11316,84 kg ve üçüncü işletmede 11375,26 kg fazladan CO_2 salımı olduğu belirlenmiştir.

Küçük ölçekli işletmelerde baca sistemi tasarımı ve projelendirilmesinin uzman kişiler tarafından doğru şekilde yapılmasının enerji tüketiminin ve çevresel etkilerinin azalmasında oldukça önemli bir etken olduğu görülmektedir.

SEMBOLLER

C	*Filtre katsayısı*
D	*Ocak üstü yükseklik [m]*
D_2	*Torba çapı [m]*
F	*Baca veya kanal kesiti alanı [m^2]*
g	*Yerçekimi ivmesi [m/s^2]*
H	*Etkili baca yüksekliği [m]*
k	*Kazan cinsine bağlı duman miktarı katsayısı [$kg/s.kW.10^{-3}$]*
L	*Kanal uzunluğu [m]*
$\dot{m}$	*Baca gazı veya duman gazı debisi [kg/s]*
N	*Elektriksel motor gücü [kW]*
N	*Torba filtredeki torba sayısı [adet]*
P	*Davlumbaz çevre uzunluğu [m]*
P_H	*Baca çekişi [Pa]*
P_A	*Bağlantı kanalındaki basınç kaybı [Pa]*
P_E	*Baca kanalındaki basınç kaybı [Pa]*
P_W	*Kazandaki basınç kaybı [Pa]*
r	*Pürüzlülük değeri [m]*
Q	*Kazan ısıl gücü [kW]*
U	*Kanal çevre uzunluğu [m]*
V	*Yakalama hızı [m/s]*
$\dot{V}$	*Hacimsel debi [m^3/s]*
λ	*Düz boru (üniversal) kayıp katsayısı*
ρ_A	*Baca gazının yoğunluğu [kg/m^3]*
ρ_H	*Dış havanın yoğunluğu [kg/m^3]*
η_{fan}	*Fan verimi*

KAYNAKLAR

[1] Elektrik Piyasası Sektör Raporu, Enerji Piyasaları Denetleme Kurumu, Ocak 2023.

[2] Çakmanus, İ., ve Akpınar, T., Endüstriyel Fanlarda Enerji Verimliliğinin Artırılması, 14. Uluslararası Enerji ve Çevre Teknolojisi Sistemleri Fuar ve Konferansı, 19 Kasım 2013.

[3] Canbazoğlu, S., Fan Mühendisliği I, AIRONN Fan Mühendisliği Teknik Yayın, 2020.

[4] Taşdemir, B., Muhtelif Altyapı Ürünleri Üreten Bir Döküm Fabrikasının Enerji Etüdü, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2019.

[5] Kaya, D., Eyidogan, M., Çoban, V., Çağman, S., Hergül, A. S., Sapmaz, S., Endüstriyel Tesislerde Enerji Verimliliği Uygulamaları-I, 6. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi Enerji Verimliliği Kongresi 2015, Sakarya, 46 Haziran 2015, vol.1,157-159.

[6] Akhan, H., Sanayide Enerji Yönetimi: Pompa ve Fan Sistemlerinde Verimlilik Artırıcı Uygulamalar, Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(1), 11-23, 2022.

[7] Genceli, O., ve Parmaksızoğlu, C., Kalorifer Tesisatı, MMO Yayını, No:352/12, 2022.

[8] Doğal Gaz – LPG Tesisatı ve Bacalar, Isısan Çalışmaları No:345, 2003.

[9] Doğal Gaz Tesisatlarında Baca Uygulaması, İGDAŞ Yayınları No:8, 2000.

[10] Klima Tesisatı, Isısan Çalışmaları No: 305, 2001.

[11] Çakmanuz, İ., Endüstriyel Fanlar, TTMD Teknik Yayın No: 23, 2009.

[12] Crawford, M., Air Pollution Control Theory, McGraw-Hill, New York, 1976

[13] https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari, Temmuz 2023

[14] https://app.electricitymaps.com/zone/TR, Erişim zamanı: 20.07.2023